



Muchos estantes de las bibliotecas especializadas en temas científicos están atiborradas de libros dedicados al origen de la vida. Así pues, ¿por qué otro libro sobre el tema? Porque en ninguno se explica de un modo claro y comprensible para el gran público no sólo lo que los científicos saben al respecto, sino también lo que aún ignoran. Tras realizar un recorrido objetivo -pero apasionado- por las diferentes teorías existentes sobre este crucial aspecto de nuestros orígenes, el autor concluye que la ciencia está aún lejos de poder ofrecer respuestas concretas, aunque, desde luego, sólo en su seno se encontrará el camino para obtenerlas.

Robert Shapiro es profesor de química en la Universidad de Nueva York, y un renombrado especialista en bioquímica y genética molecular. Ha trabajado en varios proyectos relacionados con el origen de las primeras biomoléculas y, en particular, en el programa de la NASA para detectar la existencia de vida en Marte.

Orígenes R. Shapiro

54



Orígenes

Lo que sabemos
actualmente
sobre el origen de la vida

Robert Shapiro

Biblioteca
Científica
Salvat



Orígenes

Biblioteca
Científica
Salvat

EXLIBRIS Scan Digit



The Doctor

Libros, Revistas, Intereses:
<http://thedoctorwho1967.blogspot.com.ar/>

Orígenes

Lo que sabemos actualmente
sobre el origen de la vida

Robert Shapiro

SALVAT

Versión española de la obra original norteamericana *Origins*
de Robert Shapiro

Traducción: Manuel Crespo
Diseño de cubierta: Ferran Cates / Montse Plass

ÍNDICE

PRÓLOGO	VII
INTRODUCCIÓN: EN EL PRINCIPIO	1
I. DUDA Y CERTIDUMBRE	19
II. DOS MANCHAS EN UNA ROCA	43
III. EL TESTIMONIO DE LA TIERRA	69
IV. LA CHISPA Y LA SOPA	89
V. LAS POSIBILIDADES	109
VI. LA GALLINA O EL HUEVO	123
VII. EL REPLICADOR ALEATORIO	145
VIII. BURBUJAS, FORMAS ONDULADAS Y LODO	179
IX. LLEGAN LOS COMETAS: LA CIENCIA COMO RELIGIÓN	213
X. EL CREACIONISMO: LA RELIGIÓN COMO CIENCIA	235
XI. UNA DONCELLA DE DUDOSA VIRTUD	253
XII. EN DEFENSA DE LA GALLINA	267
XIII. EL CAMINO HACIA LA RESPUESTA	285

© 1994 Salvat Editores, S.A., Barcelona
© Robert Shapiro
ISBN: 84-345-8880-3 (Obra completa)
ISBN: 84-345-8934-6 (Volumen 54)
Depósito Legal: B-20181-1994
Publicada por Salvat Editores, S.A., Barcelona
Impresa por Printer, i.g.s.a., Julio 1994
Printed in Spain

PRÓLOGO

Los estantes de las bibliotecas crujen bajo el peso de los libros sobre el origen de la vida. Sin duda alguna, el tema ya fue objeto de consideración antes del invento de la escritura. A partir de ese acontecimiento, los autores no se han mostrado tímidos en ofrecer respuestas al enigma de nuestros orígenes. Así pues, ¿por qué añadir un libro más a esta colección? Porque hace falta una explicación clara, de conjunto, para el público general, de lo que la ciencia conoce y desconoce acerca de cómo empezó la vida.

Por increíble que parezca, no ha surgido ninguna explicación científica plenamente convincente para dicho problema, a pesar de la profusión de hipótesis y el progreso acelerado de la ciencia en otros muchos ámbitos. No sólo no conocemos los detalles específicos concernientes al inicio de la vida en la Tierra, sino que tampoco hemos aprehendido todavía ningún principio fundamental. Muchas obras sobre el tema, en su ansia por abogar en pro de una solución particular, predilecta, dejan de instruir al lector acerca de este punto cardinal.

A pesar de la ausencia de una respuesta completa, hay un relato fascinante por contar. ¿En qué aspectos las teorías propuestas han resultado insuficientes? ¿Qué motivos han llevado a los proponentes de las diversas soluciones a declarar que su respuesta es la definitiva y última? Son innumerables los enfrentamientos entre los defensores de posturas contrapuestas, desde el debate entre los clérigos científicos del siglo XVIII hasta la dilatada controversia creacionista del presente. La historia de estas humanísimas contiendas ofrece un importante telón de fondo para la comprensión tanto del presente estado social de la cuestión como del dilema científico que afronta. A la postre, del análisis de las alternativas existentes y

los argumentos empleados para proponerlas emerge el problema central.

Con el problema definido y afrontado, el camino queda abierto a nuevas especulaciones. No me he resistido a la tentación de formular mis propias hipótesis. Las presento, no como verdades últimas, sino más bien como estímulo para ulteriores investigaciones, para evitar gravar el tema con dogmas adicionales. Por último, propongo experimentos que pueden ayudar a resolver las dificultades pendientes.

El libro comienza con una introducción, pensada para dar al lector una noción de la inmensa diversidad de teorías que se han propuesto en torno al origen de la vida, entre las que figuran la archidivulgada del rayo y la sopa de compuestos químicos en la Tierra primitiva y otras que invocan antecesores de arcilla, la de la llegada de la vida desde el espacio exterior, y la de la intervención de un creador inteligente (propuesta en un marco científico).

Para un examen más profundo de estas y otras posibilidades, se precisan algunos conocimientos. En el primer capítulo se distingue la aproximación científica al problema de la mítica, subrayando los principales criterios que debe cumplir una respuesta científica satisfactoria. En el capítulo segundo se describen las características esenciales de la vida a escala celular y molecular, empleando un procedimiento que permite visualizar dichas características. El tercer capítulo se ocupa de la historia más remota de la vida en nuestro planeta según se deduce del registro fósil y de los métodos de datación radiactiva. Aquellos lectores que estén familiarizados con tales temas pueden saltarse este capítulo.

En los capítulos cuarto al décimo se examinan las teorías hoy día vigentes, tanto en su contenido como en sus fundamentos, a menudo turbulentos, y se cotejan con el patrón que hemos definido en el primer capítulo para la buena práctica de la ciencia. Constatamos lo que nos dicen y lo que dejan de decirnos acerca del origen de la vida. En el undécimo capítulo se ilustra el modo en que coexisten hoy día tales teorías mediante la descripción de una importante conferencia internacional sobre el tema. Y en los dos últimos capítulos se ofrecen especulaciones respecto al origen y desarrollo de la vida y se proponen investigaciones que pueden conducirnos a la respuesta.

El espíritu rector de toda esta búsqueda es el método científico y la manera como éste contempla y explora el mundo. Si el lector saca de esta obra no sólo una sensación de asombro ante el irre-

suelto enigma de nuestra existencia sino también cierta predilección por la duda en menoscabo del dogma, habré conseguido mi propósito.

Me siento en deuda con quienes me ayudaron a preparar este libro. Algunos colegas científicos se prestaron a discutir sus ideas conmigo, a menudo larga y detenidamente: Graham Cairns-Smith, Francis Crick, Donald DeVincenzi, Gerald Feinberg, Jim Ferris, Sidney Fox, Hyman Hartman, Clifford Matthews, Stanley Miller, Leslie Orgel, Cyril Ponnampertuma, Bill Schopf, Alan Schwartz, Charles Thaxton y David Usher. Quiero agradecerles todo el tiempo y la atención prestados.

Doy también las gracias a mis agentes, John Brockman y Katinika Matson, por su aliento a lo largo del camino, y a mis mecanógrafas, Meredith Storer y Pat Smith. Por último, quiero agradecer a mi editor, Arthur Samuelson, sus valiosas sugerencias sobre la forma del libro en su conjunto.

INTRODUCCIÓN: EN EL PRINCIPIO

Cuando yo era niño, quería saber de dónde procedía, y así se lo preguntaba a mi madre. Ella me respondía que había crecido en su barriga. Luego descubrí que eso era una buena aproximación a la verdad (dejémonos de sutilezas acerca de la diferencia entre barriga y útero), pero en su momento no pude aceptarla. Después de todo, ella me decía también a menudo que si comía hamburguesas cuando se me antojara, un día tras otro, me crecerían en la barriga. Me disgustaba la idea de que mis comienzos fueran los de una hamburguesa descontrolada, de modo que descarté la teoría del origen interno de los bebés y recurrí a otras fuentes.

Me crié en la ciudad de Nueva York en los años cuarenta, en una época en que la sensibilidad del público no permitía un suministro abundante de información sobre el sexo y la reproducción en los medios de comunicación. Las historietas y las películas de dibujos animados mostraban cigüeñas repartiendo bebés, una teoría sobre el origen de la vida que tenía visos de improbable. Los cielos no estaban llenos de mensajeros alados, a pesar de los numerosos cochecitos de niños que se veían en mi barrio. Apenas se veían más aves que palomas y gorriones, demasiado pequeños para transportar la carga. Y aun admitiendo que eran las cigüeñas quienes repartían los bebés, subsistía el problema de dónde los obtenían.

No tenía posibilidades de observación directa, como no fueran los embarazos en mis parientas próximas, así que inventé historias fantásticas. Mi madre hablaba a veces de Dios, si bien no observábamos una religión formal. Yo me imaginaba que, cuando las condiciones eran las debidas —lo cual vendría determinado por alguna junta de planificación en el cielo—, los bebés aparecían junto a la madre simplemente por milagro. Quizá la madre tendría una espe-

cie de aviso premonitorio, suficiente para permitirle llegar al hospital, donde el bebé podría recibir los cuidados oportunos al llegar.

Tuve que abandonar esta idea cuando supe de los hechos reales por los compañeros de la calle. Las noticias debieron de irrum-pir en el vecindario cual ejército invasor, pues me llegaron los contundentes detalles gráficos en tantas direcciones a un tiempo que me quedé abrumado. Mucho después, ya adulto, tuve ocasión de disipar los últimos elementos de misterio en torno al proceso, pues fui testigo ocular del nacimiento de mi propio hijo, Michael. Sin embargo, la solución de este problema sólo suscitó otro mucho mayor. En su lugar, di en preguntarme por el origen de mis antecesores humanos más remotos y el de los seres que pudieron haberles precedido, hasta remontarme al comienzo de la vida misma.

Según iba en pos de este nuevo problema, me encontré una vez más en la posición del niño: no tenía posibilidades de observación directa del proceso. Respuestas las había para dar y regalar, pero ninguna era de suyo convincente. Podía optar por creer que la vida se desarrolló como una especie de hamburguesa en la barriga de la Tierra Madre, o que había sido traída de fuera por mensajeros alados. Por supuesto, mi teoría de cuando yo era niño sobre la llegada milagrosa ya se le había pasado por la mente a otros mucho antes, y por aquel entonces gozaba de una tremenda aquiescencia institucional. La mayoría de las religiones enseñaban que la vida empezó de esta manera.

Yo no deseaba una respuesta religiosa, de modo que recurrí de nuevo a mis compañeros. Pero ya no los busqué en la calle: ahora me relacionaba con quienes trabajaban en los laboratorios científicos. En esta ocasión, sin embargo, no me fueron de gran ayuda. Era demasiado pronto: las noticias aún no habían llegado al vecindario. Todavía no se habían puesto de acuerdo, por lo menos en el punto más crucial de la historia.

La ciencia nos presenta un relato coherente del desarrollo de la vida en este planeta. Si acepto que llegué a bebé —y, en último término, al ser humano adulto que soy— a partir de un huevo fertilizado, entonces puedo creer que en la Tierra primitiva una simple célula pudo evolucionar para dar lugar a la vida que vemos hoy día. Es asombroso pensar que una simple célula pueda contener suficiente información como para *hacerme*; pero, una vez superado este obstáculo, estoy preparado para una idea mucho más vasta: que una primitiva bacteria tenía, hace más de cuatro mil millones de años, el potencial para llegar a ser todos nosotros.

Sin embargo, las explicaciones científicas vacilan y las posibilidades se multiplican cuando nos preguntamos cómo apareció esta primera célula en la Tierra. Proliferan las teorías en competencia entre sí, lo que parece ser siempre el caso cuando sabemos poco sobre un tema. Algunas teorías, claro está, vienen con la etiqueta «La Respuesta». Cuando así ocurre, es más adecuado clasificarlas de mitología o religión que de ciencia.

Dicho esto, no puedo afirmar que este libro vaya a brindar «La Respuesta». Lo escribo para el presente, mañana puede ser distinto. Empero, la pregunta sobre nuestros orígenes es una cuestión magnífica que ha apasionado a la humanidad en el transcurso de la historia y constituye un relato que bien merece la pena contar. Mediante un análisis de las respuestas que se han ofrecido, podemos obtener, si vamos con cuidado, una respuesta parcial al origen de la vida, de nuestra vida.

No hemos de proceder sin una perspectiva. Por un no sé qué de mi educación, he descubierto que tiendo a dudar de la mayor parte de la información nueva que me llega a los oídos. En esto soy distinto de otros muchos, más confiados. Pero hay ocasiones en que oigo una noticia que me agrada de forma especial, o que ya había barruntado de antemano, y la acojo con entusiasmo, sin dudar, en contraste con mi estilo habitual.

He inventado un protagonista que nos acompañará en nuestras pesquisas. Personaliza las tendencias escépticas que veo en mí mismo, pero lo hace consecuentemente, sin las imperfecciones humanas. Se llamará Escéptico. Lo emplazaré de vez en cuando a lo largo del libro, siempre que un globo particularmente predilecto exija ser pinchado. En este capítulo aparecerá con más frecuencia; no obstante, antes de que empiece necesitará una disciplina, una serie de normas mediante las cuales aplicar su actitud escéptica. Su elección será la que yo hice para mí mismo en la adolescencia, es decir, la ciencia.

Comencemos con una historia larga y de final disparatado. Mis amigos de la infancia y yo pasábamos horas en las esquinas de las calles y en los bancos de los patios de recreo compitiendo por inventar méritos de este tipo. Por lo común, dichas historias tenían un formato estándar, que rellenábamos con las aventuras que inventábamos en el momento.

En un típico cuento de esta índole, el héroe buscaría una autoridad suprema que conociera la respuesta a la pregunta de cuál es el significado de la vida. Se le ocurriría, por ejemplo, localizar algún

gurú sabio que viviera en lo alto de una montaña inaccesible del Himalaya. Las aventuras del héroe en su intento de localizar al gurú durarían años. Por fin, daría con él y su aparición satisfaría todas sus expectativas. El gurú vestiría una larga túnica; tendría el semblante bondadoso, surcado de arrugas, y una inmensa barba gris. Se sentaría en actitud de meditación perpetua.

El héroe, como es lógico, le plantearía de inmediato la pregunta, y la respuesta que recibiría sería por ejemplo: «La vida es un manantial.» Esto sumiría a nuestro protagonista en la confusión y la ansiedad, y tras cierta lucha consigo mismo, diría bruscamente: «Ésa no puede ser la respuesta.» El gurú contestaría, con toda calma: «En efecto, la vida no es un manantial.»

Por supuesto, en este libro, nuestro héroe es Escéptico, y la pregunta, el origen de la vida. Omitiremos aquí las aventuras del héroe y nos trasladaremos al momento de la confrontación. El gurú, mientras tanto, ha meditado sobre las visitas anteriores y ha aprendido de ellas. Sus interrogadores esperaban de él respuestas más largas, y, además, a menudo no les agradaba la que recibían. Decidió que trabajaría con ellos más extensamente para ayudarles a encontrar una respuesta aceptable.

Cuando Escéptico formuló su pregunta, el gurú le hizo el siguiente ofrecimiento: trataría de dar una respuesta, y si a Escéptico no le gustaba lo que oía, estaba invitado a volver al día siguiente y el gurú lo intentaría de nuevo. El gurú estaba dispuesto a seguir así durante una semana, si fuera necesario. Luego tendría que atender otros asuntos.

El ofrecimiento fue aceptado y el gurú empezó con la primera respuesta ese mismo día, que era lunes.

El relato del lunes

«El primer ser vivo del que tenemos noticia se llamaba Padre Cuervo. Creó toda la vida de la Tierra y fue el origen de todas las cosas. Era un sagrado poder vivificante que empezó bajo la forma de ser humano y luego se convirtió en cuervo.

»Se despertó repentinamente a la consciencia y se vio acurrucado en la oscuridad. No sabía cómo había llegado a ser, ni dónde estaba. Todo a su alrededor era lóbrego y no alcanzaba a ver nada. Avanzó a tientas, pero sólo encontró arcilla muerta. Luego, exploró su cara y su cuerpo con las manos, y descubrió que era un ser hu-

mano, un hombre. Además, tenía una pequeña nudosidad dura encima de la frente, que algún día se convertiría en pico, pero él no lo sabía.

»Padre Cuervo caminó a gatas por la arcilla para explorar los alrededores. En su deambular, tropezó con un objeto duro, que enterró sin reflexionar. Prosiguiendo la excursión, de pronto llegó al borde de un abismo y retrocedió. Oyó de repente un sonido zum-bante y notó que una pequeña criatura se posaba en su mano. La palpó con la otra mano y descubrió que era un gorrión. Este diminuto gorrión había estado allí al principio y se le había acercado en la oscuridad. No había sabido de él hasta tocarlo.

»Padre Cuervo reemprendió la exploración y volvió al lugar donde había enterrado el objeto. Había echado raíces, convirtiéndose en un arbusto. Otros arbustos y hierbas crecían ahora en las inmediaciones, en la arcilla desnuda. El hombre se sintió solo, así que con la arcilla hizo una figura que se le pareciera, y esperó. El nuevo ser humano cobró vida y empezó a cavar por doquier sin descanso. Mostraba un temperamento vehemente y una actitud violenta. A Padre Cuervo no le gustó, así que lo arrastró hasta el borde del abismo y lo arrojó a él. Este ser se convirtió después en el espíritu del mal, el origen de todo mal sobre la faz de la Tierra.

»Padre Cuervo regresó a donde crecían los arbustos y se encontró con que se habían convertido en un bosque de árboles. Avanzó a gatas para explorar su tierra oscura, pero encontró agua en todas las direcciones menos en la que conducía al abismo. El gorrión había estado volando sobre su cabeza todo el tiempo, y Padre Cuervo le pidió que bajara al abismo y averiguara qué había allí. Así lo hizo el gorrión, y a su regreso dio cuenta de que allí había una nueva tierra, recién formada.

»Ellos estaban en la región llamada Cielo; a la de abajo, algo más joven, Padre Cuervo la llamó Tierra. Examinó al gorrión y se fijó en la constitución de sus alas. Hízose unas similares para sí con ramas del bosque y se las colocó en la espalda. Las ramas se transformaron en alas de verdad, al tiempo que le crecían plumas y un pico. Se había convertido en una gran ave negra y se puso a sí mismo el nombre de Cuervo.

»Padre Cuervo y el gorrión realizaron el largo viaje desde el Cielo a la Tierra y quedaron agotados. Cuando se hubieron recuperado, Padre Cuervo sembró la nueva región, como había hecho en el cielo, y luego creó a los seres humanos. Unos dicen que los hizo de arcilla, como hiciera con el primer ser en el Cielo. Otros

afirman que creó al hombre por casualidad, lo cual sería más extraño que si lo hubiera hecho deliberadamente. Había plantado algunas legumbres; luego abrió el fruto de una y apareció el primer ser humano. Padre Cuervo creó después todos los demás seres.

»Cuando hubo poblado la Tierra, el Cuervo reunió a los seres humanos y les dijo: «Soy vuestro Padre. Me debéis el suelo que pisáis y vuestra propia existencia. No me olvidéis.» Acto seguido regresó al Cielo.

»Durante todo este tiempo, el Cielo había estado oscuro. Con unos pedernales creó entonces las estrellas, y un gran fuego para que alumbrara la Tierra. De esta manera cobraron existencia la Tierra, el ser humano y toda la vida, pero antes que ellos fue el Cuervo, y aún antes que él, el gorrioncillo.»

Cuando el gurú concluyó el cuento, Escéptico le preguntó por el origen de esta singular historia. El gurú respondió que un esquimal, Apakag, la había contado a un explorador escandinavo, Knud Rasmussen, a orillas del océano Ártico. Se decía que era una muestra de la antigua sabiduría de aquel pueblo.

Escéptico preguntó entonces qué razones podría haber para creer que esta historia brinda una descripción adecuada del origen de la vida. El gurú contestó que sólo teníamos la palabra del esquimal. Muchas culturas, añadió, han imaginado mitos de la creación. La versión esquimal tenía algunas características originales, como el estado de confusión del poder creador, que a su juicio la hacían interesante. Los mitos de la creación varían mucho en los detalles, pero todos proclaman su propia validez.

Entonces, inquirió Escéptico, ¿cómo se podría elegir entre ellos? Se le contestó que era sólo cuestión de preferencia personal.

Declaró entonces que ninguno le servía, que no estaba interesado por la mitología. Quería una respuesta a partir de una disciplina en la que se compararan diferentes puntos de vista y se seleccionara el correcto por común acuerdo. La ciencia tenía estas características. ¿Podría el gurú contarle un relato del origen de la vida con el que los científicos estuvieran de acuerdo? El gurú dijo que lo haría al día siguiente, martes.

El relato del martes

«La naturaleza está unificada —empezó el gurú—. Es una vasta, infinita entidad que en sí misma puede ser considerada viva. Vida

y muerte son meros aspectos distintos de esta misma unidad. Así como los seres vivos pueden convertirse fácilmente en inanimados, también la materia inerte puede transformarse y dar lugar a seres vivos. Las criaturas más sencillas, en particular, se pueden formar con gran facilidad.

»No se precisa ninguna prueba profunda de esta verdad. Hombres sabios y versados la han proclamado desde la antigüedad. Aristóteles y sus discípulos observaron que las luciérnagas emergían del rocío de la mañana, y que muchas clases de animálculos se originaban en el lodo del fondo de los ríos y estanques. Más adelante, el proceso recibió el nombre de generación espontánea. El filósofo René Descartes lo analizó y propuso que era el resultado del calor que agita las partículas tenues y densas de la materia en putrefacción.

»Otros muchos científicos y filósofos abogaron por la generación espontánea, entre ellos Tomás de Aquino, Francis Bacon, Galileo y Copérnico. Se recopiló una larga lista de organismos que podían formarse de esta manera. John Needham mostró que aparecen microorganismos espontáneamente en los caldos esterilizados con más cuidado. Otros observaron que de la madera nacen gusanos, de los excrementos, escarabajos, y del lodo del río, ratones. El Nilo, sobre todo, parecía tener cualidades fertilísimas. La gran literatura da testimonio de ello. En *Antonio y Cleopatra*, de Shakespeare, Lépido dice a Antonio: «Tu sierpe de Egipto nace del lodo por la acción del sol, y lo mismo tu cocodrilo.»

»Recetas más exóticas llevaban al mismo resultado. Jan Baptist van Helmont, biólogo flamenco del siglo XVII, desarrolló un procedimiento para la obtención de ratones a partir de una mezcla de trigo y ropa interior sudada. Los ratones aparecían en forma adulta y se podían cruzar con ratones normales.

»Durante muchos siglos, los científicos estuvieron de acuerdo en que no existía problema para el origen de la vida. Según ellos, toda suerte de criaturas se producen de continuo y por doquier a nuestro alrededor.»

El gurú había concluido su disertación, pero Escéptico parecía perplejo, como si esperara más. Finalmente, le comentó que creía que la teoría de la generación espontánea había sido abandonada. El gurú le confirmó que así era, pero que, sin embargo, se había aceptado casi sin discusión durante muchos siglos. Y, después de todo, Escéptico había solicitado una explicación en la que los hombres de ciencia hubieran convenido.

Escéptico objetó que no le interesaban las teorías del pasado. Quería una teoría sobre la que existiera acuerdo pleno hoy día. Cuando le dijeron que no existía tal consenso, pidió la explicación que hubiera recibido más aceptación. El gurú prometió dársela el miércoles, y puntualmente comenzó a la mañana siguiente.

El relato del miércoles

«Hace cuatro mil millones de años, la atmósfera de la Tierra ofrecía un aspecto parecido al de ahora, pero los gases no eran los acostumbrados. En lugar de oxígeno contenía metano, hidrógeno y vapores de amoníaco.

»No existía vida. El planeta estaba cubierto por un mar somero, estéril, las únicas tierras emergidas eran yermas islas; todavía no existían los continentes. Con todo, el paisaje no permanecía estático. Rugientes volcanes despedían lava. Las fuentes termales que borboteaban en las cercanías, emitían al aire vapor de agua y gases venenosos. De vez en cuando, una tempestad de truenos fustigaba el planeta. Los relámpagos iluminaban el paisaje. Las descargas eléctricas agitaban los gases de la atmósfera, y hacían que se combinaran entre sí y con el agua. Se formaron nuevas y extrañas moléculas: aminoácidos y nucleótidos. Nunca antes habían sido vistas en la Tierra. Eran los elementos constitutivos de la materia viva.

»Poco a poco, los mares se llenaron de más y más aminoácidos y nucleótidos, con los que se creó una sustanciosa sopa orgánica, más concentrada que un caldo de gallina. Formábanse moléculas cada vez más grandes. En el transcurso de centenares de millones de años, se originaron toda clase de moléculas por colisión al azar. Unas tenían forma espiral, otras eran esféricas, y aun las había como largos filamentos.

»Por último, al cabo de miles de millones de acontecimientos fortuitos, se formó una molécula que tenía el talento mágico de copiarse a sí misma. Esta molécula mágica tenía dos largas cadenas de nucleótidos entrelazados en espiral. Cuando las cadenas se separan, cada una de ellas atrae nucleótidos hacia sí y constituye una copia de su anterior pareja, de modo que se forman dos moléculas gigantes donde antes había una. Había aparecido la reproducción.

»Este proceso de réplica se dio una y otra vez. Pronto los descendientes de la molécula original dominaron las aguas de la joven Tierra. Fueron las formas de vida más primitivas.

»En los miles de millones de años que se siguieron, estas primeras moléculas autorreproductoras evolucionaron, y con el tiempo produjeron la variedad de criaturas que ocupan la tierra actual: microbios, plantas, ratones y seres humanos. Toda criatura está hecha de células, y toda célula está hecha de los mismos elementos constitutivos: aminoácidos y nucleótidos. En el centro de toda célula viva se halla un descendiente de la primera molécula viviente, que ha sido bautizada con el nombre de ADN.»

Esta vez, Escéptico pareció casi satisfecho al término del cuento. Había topado con esa historia muchísimas veces, en formas ligeramente distintas, en escuelas, museos, en los medios de comunicación. Le gustaba esta versión y se alegró al oír que la aceptaban muchos científicos. ¿Y los restantes? ¿Se dejarían persuadir también en breve?

El gurú le confirmó que esta historia había sido contada muchas veces. La versión que le había contado la había tomado de un relato del astrónomo Robert Jastrow en su obra *Until the Sun Dies*. Sin embargo, no era probable que los científicos que rechazaban esta teoría fueran a aceptarla en el futuro. En realidad, había más disidentes ahora que veinte años atrás.

Escéptico preguntó por qué. La respuesta que recibió fue que un número creciente de científicos creían que nunca había existido la atmósfera descrita, ni la sopa. Además, se había intentado preparar la molécula mágica por simulación de dicha sopa en el laboratorio, y de momento todos los esfuerzos habían fracasado.

¿Podría haberse iniciado la vida en la Tierra sin esa atmósfera, sin la sopa, sin ADN? El gurú señaló que había surgido una teoría nueva que prescindía de estos ingredientes. Le contaría esta historia al día siguiente.

El relato del jueves

«Hace cuatro mil millones de años, la Tierra tenía rocas, agua y aire, como ahora. Ningún gas extraño llenaba el aire, ni los nucleótidos y aminoácidos nadaban en el mar. La atmósfera tenía el nitrógeno y el dióxido de carbono que hoy día nos son familiares. Sólo faltaba el oxígeno, que ahora necesitamos para vivir.

»Se producían tormentas y llovía. Las rocas se meteorizaban, se disolvían y sedimentaban. Formábanse suelos y minerales nuevos. Entre éstos figuraban las arcillas, que cristalizaban de muy diversas

maneras. Los diferentes tipos se desarrollaban, se fragmentaban, eran arrastrados corriente abajo y volvían a desarrollarse. A medida que las circunstancias cambiaban, unas se difundían ampliamente y otras desaparecían.

»Permítasenos seguir las respectivas aventuras de tres de estas arcillas, que llamaremos Limosa, Dura y Grumosa. Cada cual iba a dominar la región en la que se depositó primero. Limosa tenía una consistencia laxa indefinida. Poseía numerosos canales abiertos por los que podía pasar el agua. Las aguas corrientes depositaban minerales y se originaba más Limosa. Se desarrollaba rápidamente. Dura tenía una forma densa, precisa. Se aferraba muy bien a las rocas vecinas, pero apenas pasaba agua a su través. Su crecimiento era lentísimo. Grumosa presentaba una mezcla de propiedades de las otras dos. Estaba coagulada, con la consistencia de unas natillas mal hechas. Se desarrollaba a un ritmo moderado. Las tres arcillas habían pasado su vida en un clima bastante uniforme, seco.

»Cierta día cambió el clima y empezaron a caer lluvias torrenciales. Limosa tenía demasiada fluidez para agarrarse bien a la roca. Fue barrida por las aguas y nunca más se supo de ella. Dura resistió bastante bien y continuó más o menos como siempre. No se desarrolló ni difundió, y poco tuvo que ver con los acontecimientos del futuro. Grumosa fue la que mejor se adaptó a la situación. Se rompió en trozos. Unos permanecieron en el mismo sitio. Los demás —los hijos— fueron arrastrados aguas abajo. Muchos consiguieron hacer pie en otra roca adecuada. Cuando remitieron las avenidas y se restablecieron las condiciones normales, los bebés grumosos reanudaron el crecimiento.

»Este ciclo se repitió. Aparecieron nuevas generaciones de Grumosas y desarrollaron versiones mejoradas de ellas mismas. Cierta día, parece ser que una de las Grumosas de nuevo cuño aprendió a construir moléculas orgánicas —el tipo de moléculas que hoy día empleamos en la vida— en su estructura. Esta práctica se propagó e intensificó. Los seres orgánico-arcillosos sobrevivían mejor que los de arcilla sola, y se consiguieron mejoras supletorias reduciendo aún más la cantidad de arcilla.

»Un buen día, un descendiente lejano de Grumosa alcanzó el final lógico de este proceso. Se deshizo de la última partícula de arcilla. Ya no estuvo ligado a las rocas y pudo flotar libremente en las aguas de la Tierra. Había empezado la evolución moderna a partir de esta primera célula hecha exclusivamente de compuestos químicos.»

Escéptico frunció el entrecejo y preguntó si no habían acordado dejar de lado la mitología, porque en esta historia habían vuelto a aparecer seres hechos de arcilla. Sólo faltaba Padre Cuervo.

El gurú contestó que sí, que la creación a partir de arcilla era característica de muchos relatos míticos y también había formado parte de la teoría de la generación espontánea. Sin embargo, el relato estaba basado en auténtica ciencia, ciencia desarrollada por un químico de la Universidad de Glasgow llamado Graham Cairns-Smith. En buena medida era especulación, y se habían realizado pocos experimentos significativos; no obstante, y a pesar de todo, era ciencia.

Escéptico preguntó qué acogida había tenido la teoría entre los científicos. Se enteró de que su autor aún no era muy conocido en el mundo de la ciencia, y de que sólo un reducido —pero creciente— número de seguidores apoyaba esta hipótesis.

Puestos a escuchar especulaciones, comentó Escéptico, le gustaría conocer las ideas de los científicos más reputados de nuestro tiempo. El gurú estuvo de acuerdo en satisfacer su deseo, pero al día siguiente.

El relato del viernes

«Hace mucho tiempo, en un lejano sistema estelar, vivía una raza civilizada. Su sol era muy parecido al nuestro, pero era miles de millones de años más antiguo. El planeta de esta raza se asemejaba a la Tierra en varios aspectos: tenía una atmósfera, océanos de agua y un clima agradable. Dicho planeta, sin embargo, era más grande que la Tierra, y su mayor gravedad le permitía conservar gran parte de la nube de hidrógeno en la que se había originado. Esta atmósfera de hidrógeno hizo de él un lugar idóneo para el origen de la vida, todo lo contrario de la Tierra.

»La vida se inició en este mundo remoto y evolucionó hacia formas más complejas. Al cabo de miles de millones de años, aparecieron seres inteligentes. El proceso evolutivo había comenzado en este planeta cuando el Universo era joven, y ya existía civilización allí por la época en que se formó nuestro sistema solar.

»En este punto, una nota triste empaña nuestro relato. Esos seres, a quienes llamaremos los Antiguos, se enteraron de que la civilización no podría perdurar en su planeta. Con el tiempo, su sol se convertiría en un gigante rojo, y su planeta se vería engullido en

él y abrasado. Los Antiguos tantearon diversas estrategias para ponerse a salvo. Exploraron los planetas cercanos de su sistema solar y de los vecinos en busca de mundos aptos para la colonización, pero no encontraron ninguno.

»Se enviaron sondas espaciales no tripuladas para explorar estrellas más lejanas. Dichas sondas informaron de que existían algunos planetas bastante parecidos al suyo propio, pero que en ninguno de ellos se había desarrollado vida. En unos pocos casos se había acumulado una sopa de moléculas orgánicas, pero faltaba un factor u otro, esencial para culminar el proceso.

»Los Antiguos construyeron entonces naves espaciales. Expediciones que iban a durar muchas generaciones llevarían colonos a esos mundos nuevos, que estaban a cien o más años luz. Las mejores naves que pudieron diseñar invertirían como mínimo diez mil años en el viaje, cifra igual a muchas veces la duración de su vida. No lograron desarrollar métodos de hibernación que funcionaran durante semejante lapso de tiempo, y optaron por enviar pequeñas sociedades al espacio, en la esperanza de que sus descendientes llegarían a colonizar nuevos planetas. Sin embargo, tales sociedades resultaron inestables. Las naves regresaron o se perdieron en el plazo de unos siglos.

»A esas alturas, los Antiguos se percataron de que no podían solventar la supervivencia de su civilización. Se conformaron entonces con un objetivo menor: la perpetuación de la vida misma. No esperaban que organismos superiores pudieran sobrevivir a un viaje de miles de años a través del espacio, pero las bacterias podían hacerlo con bastante facilidad.

»Se construyeron naves especiales para albergar bacterias congeladas durante este largo viaje. En cada nave colocaron muchos paquetes, cada uno con miles de bacterias. Algunos de esos microbios podían usar moléculas orgánicas como alimento, mientras que otros eran capaces de fabricarse su propio alimento utilizando la energía radiante de un sol. Cada nave fue dirigida a un sistema solar del que se sabía que contenía algún planeta apto para la vida.

»Hace cuatro mil millones de años, una de esas naves se aproximó a la Tierra. El blanco fue identificado. Se soltaron los paquetes y su contenido fue dispersado por la superficie de este planeta. Muchas bacterias aterrizaron en lugares inadecuados. Unas pocas encontraron refugio en un mar o una charca. Las especies más idóneas se propagaron y evolucionaron. Nosotros somos sus descendientes directos, y los Antiguos fueron nuestros padrinos.»

Al término de este cuento, el gurú añadió una nota histórica. Francis Crick había tratado esta idea con gran detalle en su libro *Life itself*. Varios científicos más la habían apuntado brevemente en épocas anteriores. Crick era uno de los científicos más famosos de nuestro tiempo; junto con James Watson había descubierto la estructura del ADN, el hallazgo más importante de la genética moderna. Crick había hecho otras destacadas aportaciones a la ciencia.

Estos comentarios dejaron a Escéptico un tanto desconcertado. Reflexionó durante un rato y finalmente le planteó varios interrogantes: ¿Cree de verdad Francis Crick que la vida terrestre se inició de esta manera?, ¿cómo demonios podemos averiguar algo sobre los Antiguos? En todo caso, aunque la historia, que parece ciencia ficción, fuera verdad, todavía no hay solución para la cuestión última del origen de la vida. ¿Cómo llegaron a existir los Antiguos en su planeta?

El gurú respondió que Crick no estaba convencido de que tal serie de acontecimientos se hubiera producido. Sólo la había propuesto a título de alternativa a las teorías convencionales. En este momento era difícil obtener pruebas a su favor. Crick consideraba que la teoría era prematura. Y no, no había planteado ninguna hipótesis sobre el origen de la vida misma en la galaxia.

El gurú prosiguió afirmando que existe otra teoría, similar en algunos puntos a la de Crick, que también supone un origen extraterrestre para la vida terráquea, hace cuatro mil millones de años. Otro célebre científico británico es su principal autor. Y aunque no ha recibido el premio Nobel, sí ha merecido un título nobiliario. Se trata del astrónomo sir Fred Hoyle.

Hoyle está convencido de la validez de su teoría. Ofrece pruebas en su defensa y retrotrae los orígenes a una última respuesta. El gurú continuaría con ella mañana, si Escéptico tenía interés en saber de ella. Escéptico estuvo de acuerdo.

El relato del sábado

«La vida llegó por vez primera a la Tierra, procedente del espacio, en forma de materia viva: bacterias y virus. Células, virus y fragmentos de material genético han continuado llegando a lo largo de la historia de nuestro planeta, provocando muchas de las innovaciones biológicas atribuidas a la evolución darwiniana.

»El material vivo que nos alcanzó fue expelido anteriormente de

otro sistema solar. Viajó a través del espacio interestelar bajo la presión de la luz de las estrellas, hasta que se cruzó con una inmensa nube de gas. La nube finalmente se colapsó y dio origen a nuestro sistema solar.

»En su temprana historia, nuestro sol era muy ardiente y luminoso, de modo que la temperatura a la distancia de la órbita actual de la Tierra era como la de un alto horno. Más allá, en la vecindad de las órbitas de Urano o Neptuno, la temperatura era más favorable, unos 20°C, ideal para los procesos de la vida. A esta temperatura, las bacterias se multiplicaron rápidamente, aprovechando los productos químicos de la nube como alimento. Por entonces se formaron los cometas, y algunas bacterias que encontraron refugio en ellos se reprodujeron hasta alcanzar cantidades enormes. Otras bacterias escaparon al espacio interestelar y emprendieron viaje a otro sistema solar.

»El Sol se enfrió y se formaron los planetas. Muchos cometas quedaron allende la órbita de Neptuno, donde ahora reinaba un frío intenso. Las bacterias de los cometas se congelaron, con sus procesos vitales completamente suspendidos, y así han permanecido durante cuatro mil millones de años.

»De vez en cuando, sin embargo, un cometa se desviaba hacia una nueva órbita por efecto de la gravedad de una estrella errante, y entraba en la región interna del Sistema Solar. A medida que el cometa se aproximaba al Sol, el material congelado de su superficie se deshela y evaporaba. Células y virus quedaban libres en el espacio junto con otras partículas, y bombardeaban la Tierra. Además de esta lluvia, cometas enteros descendieron suavemente sobre la Tierra y otros planetas con atmósfera, como Marte. Durante la primitiva historia de la Tierra, células vivas de procedencia cometaria llegaban de continuo a su superficie. Muchas perecieron, pero algunas clases sobrevivieron y se establecieron. Así comenzó la vida en nuestro planeta.

»Este aflujo desde los cometas prosiguió durante muchísimo tiempo. El nuevo material biológico produjo innovaciones evolutivas, pero no todo fueron efectos beneficiosos. En la historia reciente, ciertas enfermedades epidémicas, incluidos muchos brotes de gripe, se han debido a infecciones de origen cometario.

»Los autores de esta historia no explican cómo se originaron las células y los virus en el espacio, pero afirman que hasta las formas más simples de vida son demasiado complejas para haber surgido mediante reacciones químicas al azar en el seno de una sopa. Fue-

ron diseñadas por una inteligencia superior, quizás un ser basado en la química del silicio. Seres aún más inteligentes están tras los que nos crearon. Estos seres serían capaces de controlar las reglas básicas de la física y de determinar muchos caracteres del Universo.

»Existe una cadena de seres inteligentes que se remonta hasta una inteligencia última, Dios, que es el Universo mismo. Dios es igual al Universo.»

Un largo mutis siguió al término de esta narración. Luego, Escéptico hizo las esperadas preguntas. Inquirió acerca del alcance de las pruebas, y sobre la naturaleza y la amplitud del apoyo que estas ideas habían recibido de otros científicos. Comentó la falta de detalle en lo concerniente a la cadena de inteligencias superiores. ¿Era eso ciencia o religión?

El gurú señaló que Hoyle y su colaborador, Chandra Wickramasinghe, estaban prácticamente solos en la defensa de su teoría, a pesar de haber publicado toda una serie de artículos técnicos. Dios y las inteligencias superiores no figuraban en esos detallados trabajos, sino en un libro de divulgación. Algunos científicos convencionales han aceptado partes limitadas de sus pruebas, si bien la mayoría ha atraído fuertes críticas.

Sin embargo, existe otro grupo que también se considera científico y que apoya con firmeza ciertas partes de esta teoría, en particular el rechazo a la idea de un origen químico de la vida en favor del concepto de un creador último. Las opiniones de este grupo gozan de un apoyo popular inmenso, prosiguió el gurú (a pesar de su domicilio himaláyico, el gurú había encontrado la manera de informarse de los acontecimientos más recientes). En una encuesta Gallup de 1982, el 44 % de los norteamericanos aprobaba esa postura con respecto a la creación del hombre y de la vida. Hoyle y Wickramasinghe han colaborado con este grupo en ciertas causas. El gurú presentaría el punto de vista de este grupo acerca de los orígenes en su último cuento, que empezaría el domingo por la mañana.

El relato del domingo

«Al principio creó Dios el cielo y la tierra.

»Pero la tierra era informe y vacía, y las tinieblas cubrían la superficie del abismo, y el Espíritu de Dios se cernía sobre las aguas.

»Dios dijo: Haya la luz. Y hubo luz.

»Y vio Dios que la luz era buena, y separó la luz de las tinieblas.

»A la luz llamó día, y a las tinieblas noche; y hubo tarde y hubo mañana: día primero.

»Dijo asimismo Dios: Haya un firmamento en medio de las aguas, que separe unas aguas de otras.

»E hizo Dios el firmamento, y separó las aguas que están debajo del firmamento de las que están sobre el firmamento. Y así se hizo.

»Y al firmamento Dios lo llamó cielo. Y hubo tarde y hubo mañana: día segundo.

»Dijo también Dios: Reúnanse en un lugar las aguas que están debajo del cielo y aparezca lo árido. Y así se hizo.

»Y a lo árido diole Dios el nombre de tierra, y a las aguas reunidas las llamó mares. Y vio Dios que lo hecho era bueno.

»Dijo asimismo: Produzca la tierra hierba verde y que dé simiente, y árboles frutales, que, conforme a su especie, den sobre la tierra fruto que contenga su semilla. Y así se hizo.

»Con lo que produjo la tierra hierba verde que da semilla según su especie, y árboles que dan, según su especie, fruto que contiene su semilla. Y vio Dios que lo hecho era bueno.

»Y hubo tarde y hubo mañana: día tercero.

»Dijo después Dios: Haya lumbreras en el firmamento del cielo, que distingan el día y la noche, y señalen los tiempos, los días y los años.

»A fin de que brillen en el firmamento del cielo, y alumbren la tierra. Y así se hizo.

»Hizo, pues, Dios dos grandes lumbreras: la lumbrera mayor, para que presidiese el día, y la lumbrera menor, para presidir la noche, y las estrellas.

»Y colocólas en el firmamento del cielo, para que resplandeciesen sobre la tierra.

»Y presidiesen el día y la noche, y separasen la luz de las tinieblas. Y vio Dios que la cosa era buena.

»Y hubo tarde y hubo mañana: día cuarto.

»Dijo también Dios: Pululen de animales las aguas y vuelen sobre la tierra aves bajo el firmamento del cielo. Y así se hizo.

»Creó, pues, Dios los grandes peces, y todos los animales que viven y se mueven, producidos en las aguas según sus especies, y asimismo todo volátil según su género. Y vio Dios que lo hecho era bueno.

»Y bendíjolos, diciendo: Creced y multiplicaos, y henchid las aguas del mar; y multiplíquense las aves sobre la tierra.

»Y hubo tarde y hubo mañana: día quinto.

»Dijo todavía Dios: Produzca la tierra animales vivientes en cada género, animales domésticos, reptiles y bestias salvajes de la tierra según sus especies. Y fue hecho así.

»Hizo, pues, Dios las bestias salvajes de la tierra según sus especies, y los animales domésticos, y todo reptil terrestre según su especie. Y vio Dios que lo hecho era bueno.

»Y por fin dijo: Hagamos al hombre a imagen y semejanza nuestra, para que domine a los peces del mar, y a las aves del cielo, y a los ganados y a todas las bestias de la tierra y a todo reptil que se mueve sobre la tierra.

»Creó Dios al hombre a imagen suya; a imagen de Dios le creó, los creó varón y hembra.

»Y echóles Dios su bendición, y dijo: Creced y multiplicaos, y henchid la tierra, y enseñoreaos de ella, y dominad a los peces del mar, y a las aves del cielo, y a todos los animales que se mueven sobre la tierra.

»Y añadió Dios: Ved que os he dado todas las hierbas que producen simiente sobre la faz de la tierra, y todos los árboles que producen simiente de su especie, para que os sirvan de alimento a vosotros.

»Y a todos los animales salvajes, a todas las aves del cielo y a todo ser viviente que se arrastra sobre la tierra, le doy por alimento toda hierba verde. Y así se hizo.

»Y vio Dios todas las cosas que había hecho, y eran en gran manera buenas. Y hubo tarde y hubo mañana: día sexto.

»Quedaron, pues, acabados los cielos y la tierra, y todo el ornato de ellos.

»Y completó Dios al séptimo día la obra que había hecho, y el día séptimo reposó de todas las obras que había acabado.

»Y bendijo al día séptimo, y lo santificó; por cuanto había cesado en él de todas las obras que creó hasta dejarlas acabadas.»

«He oído eso con anterioridad —señaló Escéptico—, y desde luego es religión. Quizá sea muy buena religión, pero no es eso lo que busco. Recorrí todo este camino en pos de una respuesta científica, no de una religión o un mito. Creo que se lo había explicado. Esto no vale. Busco una historia distinta.»

El gurú no se inmutó por esta declaración. Sí, muchas personas consideraban que este relato era de tipo religioso. Pero el grupo al que él había aludido, los creacionistas, defendía que eso era ciencia, e insistía en que se enseñara en las clases de ciencias de las es-

cuelas norteamericanas. Él no le había contado esa historia por su carácter religioso, sino teniendo en cuenta la opinión de dicho grupo de que eso era ciencia.

Sea como fuere, no tenía más tiempo disponible. Indicó a Esceptico que si deseaba una respuesta científica a su pregunta tendría que estudiar el material por su cuenta en vez de recurrir a una autoridad, aunque fuera tan sabia como él. Pero primero, añadió, sería prudente que aprendiera más acerca de la naturaleza de la ciencia, y de la distinción entre ésta, religión y mitología.

Seguiremos el consejo del gurú.

I. DUDA Y CERTIDUMBRE

Las criaturas vivas difieren tan asombrosamente del mundo inanimado que las rodea, que no podemos evitar preguntarnos cómo se originaron y llegaron a adquirir su forma actual. ¿Fue el comienzo de la vida un accidente, o el resultado ineluctable de las leyes naturales, o acaso el acto deliberado de un poderoso ser sobrenatural? La respuesta a la pregunta nos incumbe profundamente, pues influye no sólo en la idea que nos hacemos del significado de nuestra vida sino en el propósito último de la vida en sí.

Por ello, la cuestión del origen de la vida sigue en pie desde que el ser humano existe; cada sociedad ha ofrecido una respuesta. La forma habitual de estas respuestas ha sido la del mito: un relato que da por sentada su propia validez, en lugar de intentar demostrarla mediante algún procedimiento objetivo. Estos mitos se han incorporado, por lo común, a una trama religiosa más amplia, que brinda guía y gobierno sobre muchos aspectos de la existencia humana.

En épocas recientes, una manera alternativa de afrontar la realidad ha cautivado la imaginación de la humanidad: la ciencia. El desarrollo de la concepción científica moderna del Universo ha sido una gloriosa empresa intelectual de la raza humana. Muchos acontecimientos que en un tiempo parecieron complejos y oscuros, desde los movimientos de las estrellas hasta las actividades básicas de nuestro cuerpo, se nos han hecho comprensibles. Además, se ha empleado este conocimiento para poner buena parte de la naturaleza bajo nuestro control cotidiano. Nuestros antepasados aguardaban pacientemente el alborear del día; nosotros podemos tener luz mediante el simple movimiento de un dedo. Ellos padecían enfermedades crónicas, hoy nos basta una píldora para que desaparezca el dolor de cabeza.

Estos triunfos de la tecnología atestiguan el poder del enfoque científico. Nos llevan a esperar que la ciencia pueda decirnos asimismo cómo se originó la vida. Los científicos más comprometidos con la investigación del origen de la vida nos han ofrecido, de hecho, un relato al respecto. Hablan de una Tierra primitiva cubierta de rugientes volcanes, donde el trueno y el relámpago retumbaban y centelleaban en una atmósfera de gases extraños. Se formaban muchos compuestos químicos, que se disolvían en los mares para dar lugar a una mezcla llamada sopa prebiótica. Este caldo germinal contenía la mayor parte de los ingredientes necesarios para la vida. Cierta día, por casualidad, apareció un compuesto químico con la maravillosa propiedad de reproducirse, y llenó el caldo con sus descendientes. Así comenzó la evolución darwiniana.

Esta imagen ha permanecido vigente durante una generación. Supimos de ella en las clases de ciencias del bachillerato y nos la hemos encontrado de nuevo en museos y medios de comunicación. Artículos de divulgación y comunicados de prensa nos informan todavía de que otro fragmento del cuadro casi completo ha encajado en su sitio. No obstante, en una inspección más detenida vemos que no todo anda bien en este campo. No se aguanta firmemente, como nuestro conocimiento de la circulación de la sangre o del movimiento de los planetas.

Los defensores de la teoría al uso disienten apasionadamente en un detalle capital: la identidad química de la primera molécula autorreplicante. La mayoría se inclina por los ácidos nucleicos, los portadores de la herencia hoy. Una ruidosa minoría desafecta prefiere las proteínas, otra importante clase contemporánea de compuestos bioquímicos. Más recientemente, una facción radical ha sugerido que los minerales de arcilla —que por lo general hacen pensar en alfarería, no en reproducción— desempeñaron este decisivo papel inicial.

Algunos científicos eminentes han prescindido de todos estos intentos de describir el comienzo de la vida en la Tierra y han propuesto una alternativa absolutamente distinta: empezó en otro lugar y llegó aquí, a la Tierra. Uno de ellos, sir Fred Hoyle, ha insistido además en que fue una inteligencia superior, emparentada con nosotros químicamente, la creadora de nuestro tipo de vida. Al proponer esta idea, ha hecho causa común con un grupo mucho mayor que desea invocar al creador bíblico con el mismo propósito, no como religión, sino a guisa de ciencia.

A lo largo de este libro insistiremos, a una escala más amplia,

en la petición que hacía Escéptico: queremos conocer el mejor informe científico que exista sobre el origen de la vida. Veremos que los partidarios de la teoría más difundida no han respondido a la creciente evidencia en contra de la misma cuestionándose la validez de sus creencias, sino que han preferido conservarla religiosamente como un mito. En respuesta a ello, muchas explicaciones alternativas han introducido elementos míticos de un calibre aún mayor, hasta que, finalmente, se ha abandonado por completo la ciencia en su sustancia, si bien se ha retenido el nombre.

Para satisfacer el objeto de nuestra petición, hemos de volver a la debida práctica de la ciencia. En particular, proclamaremos el valor de la duda. Con frecuencia se pasa por alto este elemento esencial cuando se presenta la ciencia al público. En el lenguaje corriente, la afirmación de que algo es científico significa que es correcto, que está demostrado más allá de toda duda. ¿Quién osa argüir contra un hecho científico? La Tierra es redonda y se mueve alrededor del Sol. El Universo está hecho de átomos, que se combinan en moléculas. No es preciso que nos preocupemos más de estos asuntos. Tanta autoridad conlleva el nombre de ciencia, que la palabra se añade a procesos triviales para conferirles un toque de precisión, como en «ciencia de la tapicería», o para validar equívocas áreas de investigación, como en «ciencia parapsíquica». La palabra «científico» es definitiva.

En el campo del origen de la vida, nos las vemos con una ristra de teorías enfrentadas, cada una de las cuales se arroga el ser la única respuesta científica válida. A lo largo de este libro las someteremos a las rigurosas normas de evidencia empleadas por la ciencia contemporánea. Nos enteraremos de lo que se sabe de la historia de la vida y de qué problemas importantes quedan por responder, y hasta por explorar. Podremos entonces bosquejar algunas soluciones posibles y apuntar cómo se puede obtener la información que falta.

Antes de afrontar esta hazaña, hemos de familiarizarnos con las herramientas. En lo que queda de capítulo, aprenderemos algo sobre la práctica óptima de la ciencia y la filosofía que la sustenta.

LA CIENCIA: EL REINO DE LA DUDA

He escogido este título para marcar el contraste más fuerte posible entre la visión corriente de la ciencia, descrita anteriormente,

y su esencia. La ciencia no es un conjunto dado de respuestas, sino un sistema para obtenerlas. El método que se emplea en la investigación es más importante que la naturaleza de las soluciones. Las preguntas no tienen por qué ser respondidas, y se pueden brindar respuestas y luego cambiarlas. No importa cuán a menudo y cuán profundamente se altere nuestra concepción del Universo mientras estos cambios acontezcan de una manera consecuente con la ciencia. Porque la práctica de la ciencia, como la del béisbol, está plagada de reglas precisas.

No hay buena ciencia, ni buen béisbol, si los jugadores no se ponen de acuerdo en las reglas a seguir, o como mínimo no las varían a su antojo. En el béisbol, el corredor va de *home* a la primera base, después de darle a la pelota. Puede forzar las normas corriendo fuera de la línea de base y salirse con la suya, pero la dirección que debe tomar es clara. Si un jugador optara por correr directamente desde *home* hasta la tercera base, sería descalificado. Si insistiera en que su propia dirección es la correcta, se le expulsaría del juego. En este libro nos encontraremos con argumentos que se presentan como ciencia, pero quienes los aducen corren desde *home* hasta la tercera base. Buscan respuestas a su modo, pero ese modo no tiene cabida en la ciencia.

En el campo del origen de la vida, no es nada raro que una teoría u opinión particular sea elevada al rango de mito. Se la trata entonces sólo como doctrina a validar, no a refutar. Es importante que identifiquemos estos casos, así que nos detendremos a considerar cuál es el empleo adecuado de los mitos y cuál su contribución a la reflexión humana sobre el origen de la vida.

LA MITOLOGÍA: EL REINO DE LA CERTIDUMBRE

Mi enciclopedia remonta el término «mito» al *mythos* del griego antiguo, que significa «palabra» en el sentido de lo último y decisivo sobre un tema. El mito se presenta como una descripción autorizada de los hechos, descripción que no ha de ser cuestionada, por extraña que pueda parecer. La cara opuesta de esta moneda es el *logos*, vocablo griego para una descripción cuya verdad se puede demostrar y debatir. No hay que confundir el mito con la ficción; ésta es entretenida o tiene otro valor, pero no pretende ser verdad.

Muchos mitos tratan de aventuras de seres sobrehumanos. Aquí emplearemos también el término para abarcar teorías y descripcio-

nes de sucesos geológicos y reacciones químicas. La manera de presentar el relato determinará si lo consideraremos ciencia o mitología. La persona que presenta un mito da por sentado que es verdad, y no contempla ninguna explicación alternativa. Quizás aduzca pruebas en apoyo del mito, pero seguiría creyendo en él aunque no existieran pruebas o apuntaran en otra dirección. Por ejemplo, una persona puede creer que su cumpleaños le traerá buena suerte. Si se encuentra dinero en la calle ese día, lo aducirá como prueba de su suerte. Por otra parte, si se tuerce el tobillo ese día cabría que ignorase la conexión, o que supusiera que de haberse producido el accidente otro día podría haberse roto la pierna.

Una idea o una explicación no tienen que ser falsas de necesidad por estar presentadas como mitos. En este libro, sin embargo, buscamos respuestas a partir de la ciencia, no de la mitología. La mera afirmación de que algo es verdad no ha de ser considerada como prueba a su favor, no importa cuántas voces lo canten a coro.

Los mitos se cuentan allá donde hay seres humanos, y satisfacen muchas necesidades. A menudo son parte vital de la religión, aunque las religiones tienen muchos elementos adicionales, tales como ceremonias, códigos de conducta y sistemas de valores. Los mitos son también importantes instituciones culturales, y confieren significado a las normas y tradiciones de una sociedad. Además, brindan el necesario apoyo psicológico al ser humano individual.

Considérese la posible situación de un campesino primitivo. Quizás ha trabajado largas horas en el campo, atendiendo solícitamente las necesidades de su familia, y observado las tradiciones de su comunidad. Luego ve la cosecha barrida por las inundaciones, su casa destruida por el rayo, y a su familia y vecinos asolados por la peste. Podría caer en la desesperación, en la sensación de que todo esfuerzo es inútil, de que no puede controlar los acontecimientos, de que el mundo es un lugar espantoso y terrible.

En cambio, si puede creer que, de una manera u otra, ha ofendido a los dioses y que éstos le han castigado, recupera cierta dignidad. Los sucesos externos son consecuencia de sus acciones, y puede aprender a controlarlos con mejores resultados. Puede comprender la ira de otros seres humanos y aprender a hacerle frente. Si a la naturaleza se le otorgan rasgos humanos, puede relacionarla asimismo con aquélla.

Incluso en los casos en que el ser humano se siente más inocente y los sucesos más espantosos carecen de sentido, los mitos pue-

den ayudar a reparar el daño y ofrecer consuelo. Muchos de nosotros tuvimos padres que parecían omniscientes y poderosos, pero que nos sometieron a penosas experiencias sin ninguna razón aparente, y a pesar de todo confiábamos en que las cosas se resolverían para bien a la larga. Vistos desde esta misma perspectiva, los acontecimientos naturales son de más fácil aguante. El célebre cuento bíblico de Job habla de un varón honrado con siete hijos, tres hijas y muchos animales domésticos. Para probar la fe de Job, el Señor permite que Satanás destruya su familia y sus ganados, y lo aflija con una ulceración de la piel. Después de mucha introspección, Job conserva la fe y es recompensado. Levanta una nueva familia, de nuevo con siete hijos y tres hijas, y prospera, con un rebaño de tamaño doble que el anterior.

Los relatos míticos y las creencias religiosas brindan al ser humano una enorme fortaleza ante la adversidad. Sin embargo, para que sean efectivos deben ser sostenidos firmemente y no estar sujetos a la duda. Las cuestiones sin resolver, las respuestas oscuras y las opiniones variables actúan en la dirección opuesta. Despiertan ansiedad acerca de nuestra seguridad y destino. Para muchos de nosotros, cualquier respuesta contundente, que transmita cierta sensación de propósito, es mejor que nada.

LOS MITOS DE LA CREACIÓN

A lo largo de la historia, los mitos han brindado respuesta a cuestiones capitales, concernientes a nuestra existencia, incluido el origen de la humanidad, de la vida toda y del Universo. Por lo general, estos temas se encuentran enlazados. Existen mitos de la creación en prácticamente todas las culturas, y las recopilaciones como *Sun Songs*, de Raymond Van Over, enfatizan sus muchos puntos en común. Sin embargo, entre los diversos mitos no sólo hay similitud, también hay diferencias. Una variante interesa de modo particular a este libro, por cuanto va más allá de la mitología y alcanza a los conflictos que dividen la ciencia y la separan asimismo de la mitología. En términos sucintos, esta polémica se plantea en torno a si la creación se debe a un ser individual o al Universo como un todo.

En muchos mitos de la creación, la existencia de las cosas se debe a las acciones de un creador todopoderoso. En este sentido, el mito samoano de la creación se parece a nuestra Biblia. Comien-

za: «El dios Tegaloa vivía en los espacios remotos. Él creó todas las cosas, estaba solo, no había ni cielo ni tierra. Estaba solo y vagaba errante por el espacio.»

El origen de este primer y poderoso ser rara vez se cuestiona en relatos de este tipo. No tuvo comienzo y ha existido eternamente. Con frecuencia tiene forma humana, pero existen excepciones. Un mito de los indios sía de Nuevo México, por ejemplo, relata: «En el principio, hace mucho, mucho tiempo, no había más que un ser en el mundo inferior. Era la araña Sussistinako. En esa época no habían otros insectos, ni pájaros, ni animales, ni ninguna otra criatura viviente.» En ese relato, la araña Sussistinako creó a todos los demás seres vivos.

Hay otros mitos en los que el creador tiene menos poder y menos propósitos, como el Padre Cuervo del relato de la Introducción. Esos poderes son a veces muy limitados y apenas sobrepasan a los nuestros. Si por ejemplo consideramos un mito el *Relato del viernes* del capítulo anterior, los creadores que aparecen en él deberían considerarse como bastante limitados.

Un creador más joven que el Universo, con un poder restricto, supone una solución intermedia —que no definitiva— a la búsqueda de los orígenes. Nos preguntaríamos entonces qué fuerza fue originalmente responsable del comienzo de la vida. Una respuesta alternativa invoca el poder germinal del Universo mismo como origen de la vida. Tal respuesta aparece en los mitos de diversas culturas. El doctor Heinrich Brugsch resumió una compilación de mitos egipcios de la siguiente manera, según cita del libro de Van Over:

En el comienzo no había cielo ni tierra, y nada existía excepto la masa ilimitada de agua primigenia, envuelta en la oscuridad, que contenía en su seno los gérmenes y los principios, macho y hembra, de todas las cosas que iban a ser en el mundo futuro. El divino espíritu primigenio, que era parte esencial de la materia primigenia, sintió en sí el deseo de empezar la obra de la Creación, y su palabra despertó el mundo a la vida, mundo cuya forma y tamaño ya estaban representados en él mismo.

El *Rig-Veda* de la India habla, análogamente, de un caos incognoscible, primordial, del que surgió la forma de todas las cosas. La filosofía china de Lao Zi habla del *Tao*, o quietud sin forma, que por acción espontánea creó todas las cosas. Esta antigua tradición alternativa de la mitología ha rebrotado, en nuestros días, en el corazón del enfoque científico del tema: la vida proviene de materia

preexistente, no organizada, que tiene en su seno el potencial para crear las formas que conocemos. Con esta nota dejaremos la mitología y pasaremos a examinar los distintos medios que la ciencia ha empleado para llegar a esta misma posición.

LAS REGLAS DEL JUEGO

La ciencia procede más del *logos* que del *mythos*. Utiliza un enfoque distinto para comprender el mundo que nos rodea. Quienes deseen respuestas rápidas, satisfactorias, mejor será que se valgan de la mitología. Escéptico, si tal hubiera sido su inclinación, podría haber puesto punto final a su búsqueda el primer día. Muchas personas deciden aceptar los sistemas de creencias unitarios, que brindan respuestas a los principales problemas referentes a la vida, y se evitan la molestia de ulteriores pesquisas. Sus necesidades quedan satisfechas por los mitos. En cambio, en la ciencia, el método por el cual se busca una respuesta es más importante que la naturaleza de la solución. Las cuestiones no tienen por qué ser respondidas, en absoluto, y se pueden ofrecer respuestas y luego rechazarlas al ser desplazadas por una teoría más nueva.

El campesino primitivo cuya vida ha sido arruinada por las inundaciones, el rayo y la peste, poco consuelo recibirá si decide emprender un estudio científico de esos asuntos. Sin embargo, él o sus descendientes aprenderán con el tiempo a construir presas, a erigir pararrayos, a elaborar vacunas. Se evitarán nuevas calamidades. Aunque las explicaciones ofrecidas por la ciencia cambien, las innovaciones técnicas asociadas con ellas perdurarán y se perfeccionarán.

El progreso visible de la ciencia la diferencia de otras muchas actividades humanas. Las obras de Eurípides, por ejemplo, todavía se representan. La filosofía de Platón aún se enseña y discute. Pero las teorías científicas de Aristóteles están tan muertas como el propio Aristóteles, excepto para los historiadores. En la ciencia, el progreso es posible (como lo es en el juego del béisbol) porque las teorías, como los equipos, pueden perder. Una señal que identifica una teoría como científica es que la misma permita planear observaciones y experimentos mediante los cuales exista la posibilidad de ser refutada en favor de otra.

El Universo que habitamos y observamos es la fuente última y decisiva de autoridad en la ciencia. Ninguna declaración en texto

alguno, ni palabra de individuo alguno, por más eminente que sea, puede reemplazarlo. La generación espontánea fue abandonada cuando los experimentos ya no la apoyaron, a pesar de la retahíla de defensores ilustres acumulados con el tiempo. Las disputas, en la ciencia, se zanján realizando nuevas observaciones, no con debates ni votaciones. Pero la ciencia difiere de los deportes en que el resultado final no tiene por qué llegar enseguida. Lo más frecuente es que sea un proceso gradual.

Los tantos de béisbol son categóricos; con raras excepciones, los partidos concluidos no se repiten. En la ciencia, sin embargo, el conjunto básico de datos empleado para construir teorías puede desplazarse y cambiar, según se descubren errores en la obtención de los mismos. La magnitud del error que puede colarse en la realización de simples observaciones es mucho mayor de lo que los no científicos suelen creer.

LA ABUNDANCIA DEL ERROR

Reza el dicho: «Lo creeré cuando lo vea con mis propios ojos.» Cuando comencé a trabajar en mi laboratorio, pronto aprendí que no podía fiarme ni siquiera de mis propios ojos, y no digamos de los de otros.

Somos víctimas, en muchos aspectos, de nuestra percepción, de la tendencia a ver lo que ya hemos visto o deseamos ver. En una archiconocida serie de experimentos realizada por J. S. Bruner y Leo Postman, se mostraba a los sujetos un naipe durante un tiempo muy breve y luego se les pedía que identificaran lo que habían observado. Lo hacían muy bien cuando se les mostraba naipes normales, pero con naipes raros la cuestión era distinta. El cuatro de corazones negro casi siempre era identificado como cuatro de picas negro o cuatro de corazones rojo. Las respuestas cambiaban sólo cuando se les presentaba la carta una y otra vez. Los sujetos se sentían confundidos, se daban cuenta de que algo estaba equivocado. Por último, la mayoría identificó lo que habían visto, si bien algunos nunca llegaron a ese punto final.

Los errores de observación no son exclusivos de los observadores inexpertos que examinan algo rápidamente. A la vuelta de este siglo, el famoso astrónomo Percival Lowell anduvo muchos años convencido de que una extensa red de canales surcaba la superficie de Marte. Construyó todo un elaborado conjunto de fantasías acer-

ca de los habitantes que habían abierto esos canales. Lowell bautizó los diversos canales y preparó mapas detallados en los que aparecían líneas rectas interconectadas, que se prolongaban durante miles de kilómetros. Décadas después, cuando una nave espacial en órbita fotografió con detalle la superficie de Marte, los canales no aparecieron, ni tampoco característica alguna que se correspondiera con ellos, siquiera aproximadamente, en configuración o localización. Lowell había sido víctima de una ilusión óptica producida cuando se examinan formas irregulares, discontinuas, en el límite de la percepción visual humana. En estas condiciones, tales diseños se ven como líneas rectas.

Si no podemos aceptar el testimonio de nuestros sentidos, ¿cómo hemos de proceder? Incluso las fotografías, los aparatos de medida o las pantallas digitales electrónicas tienen que ser leídos e interpretados por nuestros ojos. De todas formas hemos de seguir adelante, aunque sin olvidar que cualquier observación puede ser errónea. Cuanto más sorprendente es un hallazgo, más motivos hay para desconfiar de él. Cuando determino la temperatura de fusión de una sustancia química nueva y encuentro que es una cifra corriente, me inclino a aceptarla. En cambio, si observo que la sustancia sale lentamente del tubo de ensayo y permanece suspendida en el aire, no concluiría que ésta ha aprendido a volar. Dudaría del testimonio de mis sentidos o buscaría alguna otra explicación más convencional para lo observado. Y si bien no desdeñaría la observación, me gustaría contar con la confirmación de otras. Un sabio filósofo dijo, hace algunos siglos, que para que él aceptara un milagro sería necesario que la evidencia que lo apoyase fuera tan impresionante que su refutación constituyera un milagro mayor.

PARA PERSUADIR: PUBLICAR

La piedra angular del proceso científico es la publicación de un informe completo de los experimentos con suficiente detalle como para permitir que otro investigador los repita si es necesario. Idealmente, la publicación debería hacerse en una revista profesional autorizada, una que emplee «árbitros». Estos individuos son científicos con experiencia familiarizados con el área particular de que se trate, que pueden describir errores en la manera de llevar a cabo un experimento, o ver que la conclusión no se sigue de los datos.

Mi esposa, Sandy, me contó una vez una situación insólita en

que uno de estos «árbitros» realizó su tarea directamente en el lugar del experimento en vez de realizarla *a posteriori* con los datos ya presentados. Sandy es psicóloga, y un colega de la universidad le comunicó que estaba entusiasmado con unos recientes y emocionantes descubrimientos de ciertos psicólogos soviéticos. Estos psicólogos habían comunicado que ciertos sujetos de talento tenían la capacidad de percibir colores con la punta de los dedos. Uno de esos individuos fue localizado en la zona de Nueva York, y el colega de Sandy le habló en una ocasión posterior de los lamentables sucesos que ocurrieron cuando el sujeto fue puesto a prueba.

Al individuo en cuestión, una mujer, le vendaron los ojos y la sentaron a una mesa. Pusieron en sus manos naipes de diferentes colores. Ella pasaba los dedos por encima y, al cabo de un rato, nombraba correctamente el color de cada uno de ellos. La demostración convenció a todos los presentes, salvo a un escéptico. Éste pidió un árbitro adecuado para el procedimiento, y trajeron a un mago profesional. El mago emitió enseguida su juicio: «Está mirando a hurtadillas.»

La mujer gozaba de buena reputación y nadie esperaba que fuera a defraudar. En realidad, ella misma parecía no darse cuenta de lo que estaba haciendo. Se concentraba en la punta de los dedos, y al hacerlo contraía los músculos faciales. Finalmente aparecía un relámpago de color. Quizá se imaginaba que lo había percibido en el cerebro. De hecho, una pequeñísima cantidad de luz había penetrado por debajo de la venda. Cuando se repitió el experimento en condiciones que la visión era imposible, el efecto desapareció.

En ocasiones aparecen historias en los diarios sobre investigadores que presentan resultados científicos fraudulentos. Uno de esos casos involucró a un científico que pintaba manchas en el dorso de ratones para simular el efecto que buscaba. Los científicos son humanos, y esos sucesos se dan. El riesgo de un eventual desenmascaramiento parece suficiente para mantener tales incidentes en un nivel razonablemente bajo. Mucho más corrientes son los errores inadvertidos, en los que el investigador ve el resultado que desea y se precipita a abrazarlo sin detenerse a tomar suficientes precauciones contra tales errores. Idealmente, el individuo que hace un descubrimiento científico extraordinario debería desempeñar el papel de abogado del diablo. Debería adoptar una actitud muy escéptica ante los resultados, y realizar todo esfuerzo razonable por hallar una explicación menos apasionante. Sólo después de

haber fracasado en semejante intento debería publicar su hallazgo. Dudo en calificar esta regla de esencial, pues es respetada tanto como las señales de límite de velocidad en las autopistas. Cuando veo una investigación realizada de este modo, le pongo una etiqueta de calidad extra. La ausencia de esta actitud desencadena lo contrario, enarbola una señal de advertencia: «¡Cuidado, lector, estos resultados pueden ser basura!»

LAS PUBLICACIONES PUEDEN PERECER

No siempre se consigue cortar de raíz todos los errores antes de la publicación, como en los experimentos de visión del color con la punta de los dedos. Muchos pasan el escrutinio de los árbitros científicos por descuido, o porque se proporcionó poca o incorrecta información en el manuscrito. Me viene a la memoria un caso muy ilustrativo, vivido por mí mismo.

Me sentía irritado con un profesor, altamente considerado, del California Institute of Technology (abreviadamente, Cal Tech). Éste había publicado en una prestigiosa revista dos artículos de química que tenían profundas consecuencias en mi campo. Los artículos eran soberbios, abrumadores donde los haya, con tablas, gráficos e interminables cálculos. Pero existía un problema. Investigadores anteriores habían estudiado la misma cuestión con otros métodos y llegaban a conclusiones opuestas. El trabajo previo estaba hecho con sumo cuidado y parecía no tener defectos. En aras de su teoría, el profesor del Cal Tech no había hecho referencia a esos estudios anteriores.

Poco tiempo después, la suerte me deparó un tiento con él. El escenario era magnífico: el *campus* de la Ivy League a comienzos de mayo. El sol resplandecía sobre los numerosos árboles en flor, creando un hermoso telón de fondo, ideal para charlas informales durante los descansos, aunque los científicos no se tomaron ninguno. El organizador, un joven agresivo, dejaba que las intervenciones desbordaran abiertamente el límite de tiempo. La conferencia se prolongó desde el desayuno hasta muy entrada la noche, en una sala sombría, sin ventanas. Finalmente, al segundo día, el profesor del Cal Tech habló.

Presentó los datos publicados, que fueron acogidos con gran entusiasmo. «Es la noticia más apasionante que hemos oído en la conferencia», atronó el organizador. Al final conseguí hacer uso de

la palabra. «¿Qué me puede decir de los trabajos anteriores que contradicen el suyo?», pregunté, haciendo una relación de ellos. Me miró como si le hubiera preguntado el nombre del alcalde de Shanghai. Se encogió de hombros, señaló que no había considerado la cuestión, y se volvió hacia otro interrogador.

«¡En ese caso, es bastante probable que sus datos estén equivocados!», añadí alzando la voz. Nadie me hizo caso. Miré furiosamente en torno, buscando ayuda. Había otra persona en la sala muy respetada, que debía conocer los trabajos más antiguos tan bien como yo. Era un inteligente escocés que había ayudado a fundamentar esta área de investigación. Pero no lo veía por ningún lado.

Cinco minutos después, lo encontré. «¿Por qué no me echó una mano, Dan?» «Acabo de volver del lavabo —respondió—. ¿Ha ocurrido algo interesante?»

El libro y la película *El padrino* pusieron de manifiesto que la venganza puede seguir siendo dulce, aunque llegue «fría», es decir, meses o años después. Así fue en este caso. Un año después llegó la retractación del Cal Tech. No se había conseguido repetir los resultados ni en ese centro ni en otros laboratorios. Aquellas pilas mamotrétricas de datos eran un absoluto disparate, producto de un error experimental infantil que se había descartado en el informe. El profesor pidió perdón a la comunidad científica por el lío que había organizado. Los participantes en la conferencia habían pasado por alto la verdad y la belleza del *campus* en aquella tarde de primavera.

Deben juzgarse los artículos científicos del mismo modo que juzgamos una palabra que se nos ocurre en un crucigrama. Cuando se ajusta bien a las palabras ya existentes, es probable que sea correcta. En el caso de que contradiga las entradas anteriores, no podemos soslayar éstas sin más. Hemos de sacarlas y encontrar alternativas que cuadren con la nueva palabra de nuestra predilección. No tenemos estos problemas cuando la palabra nueva se sitúa en una zona vacía del crucigrama, pero lo acertado en este caso es proceder con igual cuidado y escribir suavemente con lápiz. Si aceptamos demasiado en firme, en los crucigramas o en la ciencia, que los nuevos hallazgos son correctos, nuestra asunción puede impedir el progreso ulterior en un campo.

El tratamiento de la ciencia por la gente y los medios de comunicación a menudo no refleja esta cautela. Los resultados sin publicar, presentados en una reunión, se toman como hechos. Los tra-

bajos publicados se consideran como si estuvieran grabados en lápidas de piedra. Afirmaciones como «hecho científico probado» son de uso corriente tanto en la propaganda como en las discusiones. La frase no refleja la naturaleza de la ciencia, sino que denota más bien un anhelo insatisfactorio de mitología. Nosotros, científicos, compartimos este anhelo, sobre todo cuando nuestros propios esfuerzos son responsables de la producción del mito. Nos embarga la emoción y nos sentimos gratificados cuando nos sobreviene un relámpago de intuición o se obtiene algún resultado nuevo en nuestro laboratorio. Cuando llegan una o dos migajas de confirmación, nuestra actitud se afirma: ya poseemos la Verdad. Este sentimiento perjudica luego todos los esfuerzos futuros. No podemos evitar esta tendencia humana; lo mejor es ser conscientes de ello y evitarlo cuando se presente.

EL ARTE DE CONSTRUIR TEORÍAS

El riesgo de que los datos sean incorrectos es uno más de los que se dan en la búsqueda científica. Otro, tremebundo, es que las observaciones puedan ser triviales, tal como les voy a mostrar con el siguiente ejemplo. Mientras escribo esto, contemplo por la ventana de mi estudio los frondosos árboles que rodean mi casa. Brindan muchas oportunidades de recoger datos. Podría contar el número de árboles en la finca y el número de hojas en cada árbol. Este trabajo sería tedioso, inacabable, y estaría sujeto a errores a menos que se realizara con cuidado. Semejantes cualidades harían que algunos científicos lo miraran con buenos ojos, pero en realidad carecería de interés; no emergería ninguna teoría de esas cifras. Empero, si contara las hojas día a día y representara esa cifra con respecto al tiempo, «descubriría» la respuesta de los árboles a las estaciones. En este caso, habría hallado un efecto importante. Lamentablemente, la conclusión ya es cosa sabida, y una vez más todos mis sudores serían en vano.

Los científicos creativos son los que recopilan datos que interesan, los que apuntan relaciones importantes y trazan conclusiones acertadas. No existen líneas maestras sistemáticas para este proceso, y las trampas abundan. Como ejemplo, considérese el caso del individuo que se emborracha con ginebra y tónica el lunes, con vodka y tónica y el martes y con ron y tónica el miércoles: ¿qué provoca su embriaguez?

Si no supiéramos nada sobre bebidas alcohólicas, nuestra primera conclusión sería inmediata: el factor común, la tónica, provoca embriaguez. Cabe que la deducción sea incorrecta, pero podemos emplearla para hacer predicciones que se puedan verificar. El experimento es poco menos que inmediato: que el individuo beba tónica sola. Al hacerlo y permanecer sobrio, descubriremos que nuestra primera idea no era correcta.

Rara vez se abandona con premura una teoría equivocada. Primero se intenta salvarla, modificándola. En el ejemplo anterior, podríamos suponer que la tónica produce embriaguez sólo cuando se mezcla con otro líquido. Acto seguido cabría poner a prueba por ejemplo la combinación de tónica y gaseosa. Tras este fracaso, se podrían añadir restricciones complementarias. A la larga, quizás emergiera un nuevo enfoque. Por algún destello de intuición, acaso diéramos en concluir que la ginebra, el vodka y el ron pueden producir embriaguez, y que la tónica nada tiene que ver en el proceso. Entonces planeearíamos un experimento decisivo: nuestro complaciente sujeto intentaría emborracharse con cada una de estas bebidas sin tónica. Esta vez lo conseguiría.

Un experimento crucial de esta índole representa el equivalente científico del enfrentamiento cara a cara en un combate de boxeo. Nadie saldrá victorioso de un debate entre mitologías enfrentadas, pero en la ciencia se espera que haya un ganador cuando se pone a prueba una teoría. Éste, por supuesto, no se convierte en eterno campeón, pues nuevos contrincantes saltarán al cuadrilátero en cualquier momento. La nueva teoría que afirma que la embriaguez puede deberse a ingestión de cualquiera de estos líquidos —ginebra, ron o vodka— planteará problemas el jueves por la noche cuando el mismo individuo se emborrache bebiendo whisky con soda.

De este modo, podría emerger una teoría modificada, que contuviera una lista exhaustiva de bebidas embriagadoras. Las nuevas, una vez descubiertas, se añadirían simplemente a la lista. Cierta día, quizás un químico reparase en que todas contienen alcohol etílico, y escribiera una tesis más simple: las bebidas que contienen alcohol etílico producen embriaguez. Como la anterior, esta teoría describiría correctamente todos los datos. ¿Cuál usar? Una regla científica cubre esta eventualidad: se adoptará la tesis más sencilla de las dos. Cuando alguien se sirve de este principio se dice que aplica la navaja de Ockham, en alusión al filósofo y teólogo del siglo XIV Guillermo de Ockham.

Todas las teorías anteriores, correctas y erróneas, simples y complejas, caen en el ámbito de la ciencia, pues es posible ponerlas a prueba. Considérese, a título de comparación, la siguiente tesis: «Se produce embriaguez siempre que el dios Baco decide dispararle a alguien una flecha. El estado persiste hasta que la flecha cae. Ni Baco ni sus flechas pueden ser detectados de ninguna manera.» Puedo imaginarme algunas escenas fantásticas según leo este relato. Si lo creyera, podría vivir sintiéndome menos culpable. Baco tendría la culpa cuando me emborracho, no yo. Pero esta tesis es un mito y no ciencia: no existe manera de refutarla, de demostrar que es errónea. Baco produce embriaguez, y la embriaguez es obra de Baco. El círculo es impenetrable. Una persona que presentara esto como ciencia estaría corriendo descaradamente de *home* a la tercera base.

SEMMELWEIS Y LA FIEBRE PUERPERAL

Los ejemplos anteriores son imaginarios. Me gustaría ofrecer un relato más vívido del proceso científico, de modo que voy a contar la historia de Ignaz Semmelweis, que ideó medidas profilácticas importantes para controlar la fiebre puerperal.

Semmelweis fue un médico húngaro que trabajó en un hospital de Viena en los años cuarenta del siglo pasado. Dos clínicas de obstetricia de este hospital diferían radicalmente en las tasas de mortalidad producida por la susodicha enfermedad tras el alumbramiento. No existía una teoría específica para describir la causa de la enfermedad o las diferencias entre tales tasas, sólo meras generalizaciones, por ejemplo, que se debía a influencias «atmosférico-cósmico-telúricas». Esta definición —que abarca el cielo y la tierra— era tan vaga como para no sugerir ensayos que la verificasen, y resultaba acientífica e inútil. Semmelweis optó por observar de cerca las dos clínicas.

Los estudiantes de medicina hacían las prácticas de obstetricia en la primera clínica, la que tenía mortalidad alta, mientras que en la otra se empleaban parteras. ¿Es que los estudiantes eran muy torpes e infligían lesiones debido a una burda manipulación durante el examen? La inspección de las pacientes en lo que atañe a estas lesiones no reveló diferencias significativas. Pensó entonces en otra posibilidad. Las mujeres de la segunda clínica daban a luz echadas de costado; las de la primera, de espaldas. No sin ciertas dificultades,

se indujo a los estudiantes de la primera clínica a adoptar la posición lateral. No se presentó cambio alguno en la mortalidad.

Se pensó en una explicación psicológica. La primera clínica quedaba junto a una sala de enfermos donde se solía requerir la presencia del sacerdote para administrar los últimos sacramentos. Un enfermero con una campana precedía al sacerdote. Ambos cruzaban la primera clínica, pero no la segunda, en su recorrido. ¿Espantaba y desmoralizaba este macabro y ruidoso espectáculo a las madres encintas, menguando su resistencia a la enfermedad? Se cambió el itinerario del sacerdote, pero las tasas de mortalidad no cambiaron. Se probaron otros muchos factores, mas todo resultó inútil.

La observación clave fue accidental. Jakob Kolletschka, un colega de Semmelweis, sufrió un pinchazo en el dedo mientras realizaba una autopsia. Murió, y con síntomas que recordaban los de la fiebre puerperal. Semmelweis decidió que unas «partículas cada-véricas» introducidas en el torrente sanguíneo de su colega habían producido la enfermedad, y de ahí saltó a la conclusión de que las mujeres enfermas habían corrido un destino análogo en la sala de partos. Los estudiantes de medicina realizaban autopsias, se lavaban las manos sin mucho cuidado, iban luego a la primera clínica para examinar a las pacientes, y las infectaban. Las comadronas de la segunda clínica no practicaban disecciones y no provocaban la enfermedad.

Acto seguido, Semmelweis pidió que todos los estudiantes se lavaran las manos en una disolución de cal clorada antes de entrar en la sala de maternidad. Esta sustancia bastaba para eliminar el olor a cadáver de las manos, y se supuso que también destruiría las partículas. En dos meses, la tasa de mortalidad de la primera clínica se redujo, y se salvaron muchas vidas.

Este funcionamiento satisfactorio no confirmó todos los detalles de la nueva teoría, pues un desgraciado incidente condujo a su modificación. Once pacientes murieron a un tiempo de fiebre puerperal. No andaba de por medio ningún cadáver, sino que la epidemia fue rastreada hasta un foco distinto. Una paciente de la misma sala había sufrido «cáncer cervical ulcerante» y el personal médico que la examinó procedió seguidamente a visitar a otras pacientes de la misma sala, sin detenerse a lavarse las manos con cal clorada. Fue entonces cuando se descubrió que la enfermedad podía ser producida no sólo por material de los cadáveres, sino también por «materia pútrida de los organismos vivos». Se adoptaron procedimien-

tos mejorados, y se salvaron más vidas. Pero, a pesar de este éxito, seguía sin ser comprendida la verdadera causa de la enfermedad: la infección por microorganismos.

Las deficiencias de la teoría, así como la oposición a la misma basada en motivos políticos, demoró la aceptación de los métodos de desinfección de Semmelweis. Por ironías del destino, éste murió de una herida infectada —como su colega Kolletschka— antes de que su teoría triunfara definitivamente.

EL DESFILE DE LOS PARADIGMAS

La epopeya de Semmelweis ilustra cómo determinadas ideas que tienen éxito en cuanto a su valor predictivo, pueden ser descartadas en un momento posterior en favor de otras más efectivas. Éste es el destino no sólo de las teorías individuales, sino de los conceptos explicativos más generales que estructuran toda una disciplina. Thomas Kuhn, en su obra *La estructura de las revoluciones científicas*, llama a dichos conceptos «paradigmas».

Semmelweis intentó combatir la enfermedad en una época en que la ciencia pertinente se hallaba en un estado preparadigmático. Se habían recogido muchos datos importantes en lo concerniente a la mortalidad, pero no existía un concepto unificador a mano que los explicara. A falta de un paradigma, la ciencia se mueve a ciegas. Se recopilan datos esencialmente al azar, surgen diferentes escuelas contrapuestas y cada cual interpreta la información según sus propios postulados. Los partidarios de una escuela ignoran por lo general los hallazgos de las otras. Aparecen de continuo nuevas especulaciones. (Una especulación es una explicación científica que va más allá de los datos disponibles. En principio es contrastable, pero de ordinario no conviene hacerlo por el momento. La idea de Crick, de que la vida comenzó en la Tierra con la llegada de bacterias en naves espaciales, es un ejemplo excelente de especulación.)

Los dominios preparadigmáticos de la ciencia atraen por lo común la atención del público general, pero frustran a los científicos que trabajan en ellos. Las cuestiones que atañen a la base molecular del envejecimiento y la conciencia, o a la existencia de vida en otros lugares del Universo, son ejemplos de este tipo.

Con el tiempo, a medida que madura una rama de la ciencia, triunfa una escuela de pensamiento. Su forma específica de inter-

pretar los datos resulta más verdadera y hace mejores predicciones que las demás. La vencedora se instala como paradigma rector. La teoría atómica de la materia, la evolución darwiniana y la base molecular de la herencia, entre otras, caen dentro de esta categoría. Un paradigma, una vez establecido, domina el pensamiento en su campo de aplicación. Los nuevos investigadores de la disciplina en cuestión se inician en ella estudiándolo. Libros y artículos sobre el tema, otrora comprensibles para el lego, incorporan ahora el conocimiento detallado del paradigma y quedan fuera del alcance del público general. Y sobre todo, se desata una efervescente actividad científica.

Un paradigma nuevo provee sólo un esquema general al área de conocimiento correspondiente. Hay que añadir los detalles. Deben explorarse a fondo las consecuencias del paradigma. Se tienen que revisar los resultados que no encajan en el cuadro, e incorporarlos a la estructura si es posible. Kuhn llama «ciencia normal» a esta actividad de confirmación del cuadro existente. La mayoría de los resultados de la misma tienen quizá poco interés para el público en general, pero esta clase de trabajo reporta satisfacción a los científicos. Los experimentos, cuando se hacen bien, ofrecen resultados que tienen sentido, y añaden otra pieza a un rompecabezas cuyo contenido global está claro. Los mejores resultados merecen el elogio de casi todos los investigadores de ese campo.

En ocasiones, una investigación intensiva en una determinada área pone de manifiesto anomalías, piezas nuevas que no encajan. Errores del tipo de los que hemos tratado explicar bien parte de tales anomalías. Todo dominio saludable de la ciencia posee su provisión de tales anomalías. (Son problemas idóneos para tesis doctorales.) Poco a poco se van resolviendo, y otros nuevos ocupan su lugar. Pero, de vez en cuando, las anomalías no ceden. Según se intenta resolverlas, se multiplican y se hacen más evidentes. A la larga, llegan a ser una amenaza para el propio paradigma.

Llegado este punto, un sentimiento de crisis e incertidumbre invade el área en cuestión; los que se dedican a ella sienten malestar. Esta ansiedad proviene del carácter emocional de los científicos interesados, no de amenaza alguna para los logros técnicos en dicho campo. La incertidumbre y el azar sientan plaza en el mundo ordenado del paradigma, que cuando parecía inexpugnable había desempeñado muchas de las funciones del mito. Cual hereje que no es bien recibido en la iglesia, el científico que discute el paradigma rector no será aceptado por sus colegas.

En ciertos casos, las dificultades se multiplican hasta que el propio paradigma se viene abajo, desplazado por otro. Ha sobrevenido una revolución científica. Una de ellas fue la sustitución de la astronomía de Ptolomeo, centrada en la Tierra, por la concepción de Copérnico, en la que los planetas giran alrededor del Sol. En otros casos, un paradigma puede hundirse por *motu proprio* sin sucesión, y la situación preparadigmática se reinstala por un tiempo. Uno de estos casos es la generación espontánea.

Los relatos del desarrollo de la ciencia dan por sentado una acumulación gradual de conocimiento, una suave ascensión por la escalera del saber a lo largo de la historia. Kuhn concibe el proceso como una serie de episodios discontinuos: la ascensión y la caída de los paradigmas. La historia de la cuestión del origen de la vida se comprende mejor en este contexto. La generación espontánea dominó el campo durante un milenio. Zozobró en el siglo XVIII, si bien no llegó a hundirse plenamente hasta los años sesenta del siglo pasado, cuando Louis Pasteur realizó una importante serie de experimentos. Siguió un período de confusión hasta que afloró un nuevo paradigma durante el período 1922-1953. Recibió éste el nombre de hipótesis Oparin-Haldane en honor a sus fundadores, Alexander I. Oparin y John B. S. Haldane. Esta teoría sigue vigente hoy día, aunque su pulso es cada vez más débil. Han surgido anomalías que amenazan la estructura básica. Las especulaciones candidatas al papel de paradigma del futuro no se han hecho esperar. El resultado no está asentado, pero apreciaremos mejor las dificultades del presente cuando hayamos digerido el ejemplo del pasado.

LA GENERACIÓN ESPONTÁNEA: EL PARADIGMA PERDIDO

El término «generación espontánea» se ha aplicado de diversas maneras. Adoptaremos aquí la definición del historiador John Farley: por generación espontánea se entiende la creencia de que «ciertas entidades vivas pueden aparecer de repente, por azar, a partir de la materia y con independencia de toda clase de padres». Esta idea refleja la experiencia de numerosos observadores, que se remontan a los tiempos de Babilonia, de la China antigua y la Grecia clásica.

Puedo completar sus observaciones con una mía. Hace poco viajé a las islas Galápagos para ver los lugares que inspiraron a

Charles Darwin y que tantos datos le reportaron para su posterior teoría. Mis compañeros de viaje y yo exploramos una de las islas, Fernandina, que presenta enormes coladas de lava —testimonio de las erupciones intermitentes habidas en el transcurso de varios siglos—. Poca vida íbamos a ver en esta enorme extensión de roca negra, retorcida y desigual, que se prolonga desde las montañas hasta el mar. Las excepciones más notables sólo eran perceptibles de cerca, pues su color y forma se confundían con los de la roca. Minúsculos lagartos de un color negro grisáceo aparecían y desaparecían por doquier. Formas reptilianas mayores, negras y erizadas de púas —las iguanas marinas— se asoleaban cerca del mar. Armonizaban tan bien con el entorno que las imaginé originadas a partir de la lava, producto de la generación espontánea. Alexander Oparin había sintetizado con anterioridad esta tentación: «Siempre que el ser humano se ha encontrado con la aparición inesperada y exuberante de cosas vivas, lo ha considerado un ejemplo de la generación espontánea de la vida.»

El derrumbe del paradigma de la generación espontánea empezó cuando el ser humano sustituyó la observación pasiva por la experimentación activa. Un médico italiano del siglo XVII, Francesco Redi, figura entre los primeros en dar motivos de duda. Redi puso carne de serpiente recién muerta en un recipiente abierto. Como otros muchos ya habían observado, al cabo de varios días aparecieron pequeños gusanos blancos en la carne. Redi cogió algunos y los puso en un frasco aparte. Transcurrido cierto tiempo, cada uno de ellos se convirtió en una mosca, así que no eran gusanos, sino larvas de mosca.

Repitió nuevamente el experimento, pero cubrió con una gasa los frascos con carne. La malla era tan tupida que las moscas no podían llegar a la carne. No se desarrollaron larvas en el interior de los frascos, pero aparecieron huevos de insecto sobre la gasa. Quitó entonces la cubierta protectora, y al poco tiempo las larvas hicieron acto de presencia en la carne. Se había demostrado que su origen eran las moscas, no la generación espontánea. Así pues, la teoría quedó refutada en este caso particular, pero sobrevivió. El propio Redi creía que la generación espontánea podía darse en otras circunstancias.

Un caso especial, aceptado por muchos científicos, era el de la generación espontánea de los microbios. Estos «animálculos» habían sido descubiertos por Antoine van Leeuwenhoek, contemporáneo de Redi, en sus primeras investigaciones con el microscopio.

John T. Needham, jesuita y naturalista del siglo XVIII, afirmaba haber observado la generación espontánea de estas minúsculas criaturas en caldos de cultivo preparados por él. Needham hirvió los caldos para matar los microorganismos ya existentes, y luego selló los matraces, en ocasiones herméticamente. Una vez cerrados, los calentó sobre ascuas para esterilizar el aire de su interior. No había descuidado ninguna precaución, según él. En todos los casos, transcurridos varios días aparecieron animálculos dentro de los matraces.

Las opiniones de Needham eran opuestas a las de otro cura científico, el italiano Lazzaro Spallanzani, que realizó la misma clase de experimentos con más cuidado. Spallanzani selló primero todos los frascos herméticamente y luego los calentó durante más tiempo para garantizar la esterilización. En centenares de experimentos de este tipo, empleando muy diversas recetas para el caldo, nunca aparecieron microbios. Concluyó que Needham no había tomado suficientes precauciones al sellar los frascos, o que no los había calentado bastante.

Needham no agradeció a Spallanzani la elegante refutación de su teoría. Quizá su vocación no le había preparado para hacer de abogado del diablo. En vez de eso, Needham modificó su teoría para satisfacer las nuevas circunstancias. Estaba convencido de que sus caldos, que él llamaba infusiones, tenían el poder de crear vida, pero que su vitalidad podía ser destruida por un tratamiento brusco, *a la Spallanzani*. Cabe citar las palabras del propio Needham: «Sin embargo, el método mediante el que él [Spallanzani] ha torturado sus diecinueve infusiones vegetales es evidente que ha debilitado considerablemente, o acaso destruido por completo, la fuerza vegetativa de las sustancias en infusión.» Llegados a este punto, no estaba claro cómo se podría efectuar una prueba definitiva, y la controversia se prolongó hasta la época de Louis Pasteur. En 1862, este gran científico francés ganó un premio de la Academia Francesa de Ciencias por sus experimentos relativos a la generación espontánea. Un colega, J. B. Dumas, le había prevenido de entrar en el estudio del origen de la vida: «No le aconsejaría a nadie que dedicara demasiado tiempo al tema.» A Pasteur le cundió el tiempo que invirtió en él, pero, más de un siglo después, yo he recibido un consejo similar.

Pasteur demostró que los supuestos casos de generación espontánea se debían a la contaminación de los caldos por microorganismos transportados por las partículas de polvo del aire. En los expe-

rimentos clave, utilizó matraces con cuello de cisne, así llamados por el largo cuello en forma de S que los comunica con el exterior. En su interior, los caldos esterilizados por calentamiento permanecían estériles. Las partículas de polvo que transportaban bacterias quedaban atrapadas en el cuello y no podían llegar al líquido. Sin embargo, cuando se eliminaba dicho cuello, en los caldos proliferaba una multitud de microbios al cabo de cuarenta y ocho horas. La ausencia inicial de bacterias en el caldo esterilizado no se debía a la pérdida de un poder vegetativo, sino más bien a la exclusión de los microbios del aire.

Pasteur resumió su investigación en una conferencia triunfal en la Sorbona, en 1864, que finalizó con este comentario: «La doctrina de la generación espontánea no se recobrará jamás del golpe mortal de este sencillo experimento.»

Puede que el golpe fuera mortal, pero la víctima se tomó su tiempo para desaparecer. Una de las máximas científicas afirma que las teorías desacreditadas expiran no por la rápida conversión de sus partidarios, sino por el fallecimiento del último de sus defensores. El superviviente final de esa época de defensa de la generación espontánea fue un científico inglés: Henry C. Bastian. Bastian había descubierto que las infusiones de heno contienen esporas anormalmente resistentes al calor. Se necesitaban períodos de calentamiento mucho más largos para destruirlas. Pero él no interpretó sus resultados de esta manera, sino que vio en ellos una prueba de la generación espontánea. En los años setenta del siglo XIX, se enzarzó en un agrio debate con los miembros de la Academia Francesa. Siguió solo en defensa de su posición hasta su fallecimiento en 1915.

El ejemplo de Bastian demuestra el influjo que puede ejercer un paradigma o una teoría de cosecha propia en la mente de una persona. Se abandona la actitud escéptica, la que mejor sienta a la ciencia, y la idea toma visos de mito. Nos iremos tropezando con este comportamiento a medida que vayamos explorando el origen de la vida. Sin embargo, antes de examinar las teorías posteriores a la de la generación espontánea habremos de hacer una pausa para revisar parte de la información fundamental obtenida por la ciencia en lo referente a la naturaleza de la vida y su historia en este planeta.

II. DOS MANCHAS EN UNA ROCA

Es fácil observar un perro y una roca, y decidir que uno está vivo y el otro no. Mucho más arduo resulta comparar dos manchas en una roca y llegar a la misma conclusión. Sin embargo, una puede ser un mineral, totalmente similar al resto de la roca, mientras que la otra puede ser un vegetal primitivo (un líquen), formado por los mismos compuestos químicos que el perro.

La naturaleza de unas manchas —aún sin identificar— observadas en ciertas rocas es de una importancia capital. En 1976, dos sondas espaciales no tripuladas del proyecto Viking llegaban a la superficie de Marte e intentaban determinar por diversos medios si existía vida en ella. Las cámaras que transportaban ofrecían el método más directo de detección de vida. La información previa sobre la superficie de Marte era tan esquemática e incompleta que no se podía excluir ni siquiera la presencia de animales del tamaño de un oso.

Las cámaras no revelaron nada que se moviera, ni característica alguna que atestiguara la presencia manifiesta de vida. El doctor Gilbert Levin, miembro del equipo investigador del Viking, no se desanimó y exploró las fotografías con gran cuidado. Descubrió que las rocas próximas a una de las sondas espaciales tenían manchas verdes que guardaban estrecha semejanza con los líquenes de la Tierra. Los líquenes, que son en realidad una especie de matrimonio entre algas y hongos, figuran entre las formas de vida más adaptables de la Tierra. Pueden sobrevivir en lugares fríos y áridos, como en las cumbres de las montañas y la Antártida. Permanecen en estado letárgico cuando las condiciones son adversas, y muestran una explosión de actividad cuando vuelven la luz del sol y la humedad. Si hubiera de hallarse alguna forma de vida en Marte, los líquenes serían unos candidatos probables.

Por desgracia, la investigación no ha pasado de este punto, porque no se pudieron tomar muestras de las manchas para su análisis. Habremos de aguardar a que la exploración de la superficie de Marte sea reemprendida en alguna fecha futura para conocer la naturaleza de dichas manchas. Si pudiéramos traer una muestra de este material a la Tierra, el problema de identificarlo sería mínimo. Visto al microscopio, el líquen muestra células y filamentos característicos, mientras que los minerales presentan un aspecto muy diferente. Los análisis químicos ofrecerían resultados aún más definitivos. Ciertos átomos y moléculas son característicos de los objetos vivientes de la Tierra, y muy distintos de los que se encuentran en las rocas. Estos ensayos se desprenden de nuestra larga experiencia con líquenes y minerales, pero no permiten captar la diferencia esencial entre criaturas vivas y materia inanimada. Sin embargo, es esta diferencia precisamente la que debemos explorar a fondo si hemos de explicar cómo una puede haber surgido de la otra.

Volvamos a nuestra primera comparación entre el perro y la roca, y consideremos la organización en vez de la «vivacidad». El cuerpo del perro se puede dividir en partes distintas: cabeza, tronco, extremidades y cola. Las rocas, por lo general, no muestran una organización tan evidente. Aunque pudiéramos localizar una muestra atípica, con subdivisiones manifiestas, esta forma sería accidental. Otros perros tendrán las mismas partes que el primero que observemos; las rocas, por el contrario, diferirán una de otra.

El interior de un perro también está organizado. Los distintos órganos tienen un emplazamiento propio y específico; los órganos están formados por tejidos, que a su vez lo están por células, y las propias células están hechas de elementos característicos. En las rocas, en cambio, no existe ninguna jerarquía de niveles de organización bien definidos.

La teoría de la evolución señala que los niveles superiores de organización de la vida surgen de los inferiores. Veremos que las células más antiguas, identificadas en forma fósil, son las más simples. Es creencia común que las células más complejas aparecieron tardíamente en la evolución, y que los organismos multicelulares lo hicieron aún más tarde.

Por consiguiente, el origen de la vida supuso la organización de los niveles inferiores: moléculas y elementos celulares. Debemos conocer cómo funciona la vida hoy a estas escalas antes de indagar cómo se planteó esta situación por vez primera. Nos detendremos a explorar este mundo submicroscópico.

EL MUNDO DEL «ASCENSOR DE MAGNITUDES»

Es difícil, pero no imposible, visualizar el tamaño de una célula o un átomo en relación con los objetos de nuestro mundo cotidiano. Lo haremos con la ayuda de un aparato imaginario: el *ascensor de magnitudes*. Mientras que el ascensor usual nos lleva a los pisos superiores o a los inferiores, el ascensor de magnitudes nos agranda o nos reduce de tamaño. Entramos en el nivel 0, que indica la planta baja, y podemos pulsar botones que van del 1 al 25 para movernos hacia arriba, o del -1 al -25 para descender a los niveles inferiores. Cada número positivo aumenta nuestro tamaño aparente en un factor de 10 respecto al inmediato inferior, en tanto que cada número negativo lo mengua respecto al inmediato superior en la misma magnitud.

Si pulsáramos el número 1 y ascendiéramos al primer nivel, por ejemplo, pareceríamos diez veces más grandes que lo normal. De este modo, si nuestra altura es de 180 cm, saldríamos a un mundo en que parecería que tenemos 18 m de alto. La gente nos llegaría a la altura del tobillo y los árboles se nos antojarían arbustos. Si pulsáramos el botón marcado con un 2, al salir nos veríamos altos como rascacielos. Los aficionados a las matemáticas habrán reparado en que el número del botón del ascensor de magnitudes representa el exponente de la potencia de 10 por la que se ha multiplicado nuestro tamaño aparente. Así, en el segundo nivel tendríamos 10^2 , es decir, 100 veces nuestro tamaño normal.

Esta posible variabilidad en nuestro tamaño es totalmente imaginaria, porque las leyes de la naturaleza sólo nos permitirían existir dentro de un intervalo muy reducido de tamaños, a pesar de los liliputienses y los brobdingnagianos de Jonathan Swift. Si nuestra altura aumentara 10 veces, por ejemplo, la superficie corporal lo haría 100, y el peso —la cantidad total de carne— 1.000 veces. El calor producido por las actividades corporales crecería en proporción al peso, pero tendríamos menos superficie disponible para disiparlo. Pronto nos asaríamos con nuestro propio calor, pero antes de eso ya nos habríamos derrumbado por los suelos. La resistencia de las piernas habría aumentado 10 veces —en proporción al aumento de su sección transversal—, cantidad insuficiente para permitirles aguantar nuestro peso.

Es mejor concebir el ascensor de magnitudes como una serie de modelos diseñados inteligentemente para reflejar cómo podría presentarse el mundo si pudiéramos cambiar de tamaño. Cabría ima-

ginar los niveles, o construirlos realmente en los diferentes pisos de un museo, y que se accediera a ellos por medio de un ascensor corriente con las señales oportunas. En nuestra investigación sobre el origen de la vida no precisaremos los que quedan por encima de la planta baja, sino los inferiores. Para comenzar la exploración, consideremos este mismo libro. Cerrado, tiene un tamaño de aproximadamente $18,5 \times 13 \times 2$ cm. Pulsemos el botón -1 y examinémoslo de nuevo. Se ha convertido en una losa con las dimensiones aproximadas de una cama regia.

Durante el resto de nuestro viaje mantendremos el libro abierto por esta página. Fijemos nuestra atención en cualquier letra *i* de la misma y pulsemos el botón -3. Nuestro tamaño parecerá una milésima parte del normal cuando salgamos del ascensor, la misma altura que la letra *i* sin el punto. El propio punto sería una mancha negra de 30 cm de diámetro, el tamaño de un aro de baloncesto. La página en la que estaríamos ocuparía una extensión de tres manzanas de calle por dos, lo suficiente para una gran plaza pública. Si paseásemos por el borde y mirásemos hacia abajo, nos veríamos suspendidos en lo alto de un precipicio de seis pisos de altura. La pared del precipicio parecería un montón de alfombras visto de frente. Cada «alfombra» —una página de este libro— tendría unos 6 cm de grueso. La superficie de la página sería también más como la de una alfombra que lisa, con fibras entrelazadas, canales y huecos fácilmente visibles.

No realizamos esta excursión para estudiar el arte del editor de libros, sino como parte de la búsqueda del origen de la vida. Para afinar nuestro conocimiento de la vida, en el punto de la *i* colocaríamos un modelo de un organismo sencillo: un paramecio (en el mundo real, los paramecios viven en las charcas de agua dulce, no en las páginas de los libros). Nuestro modelo de paramecio tendría una longitud como la de nuestra mano y ocuparía aproximadamente medio punto de la *i*. En una inspección más detenida, veríamos que tiene la forma de un cigarro rechoncho y está cubierto de centenares de estructuras a modo de pelos: los cilios. En un costado de la criatura se abre un poro destinado a la ingestión del alimento.

La comida del paramecio consiste, las más de las veces, en bacterias, minúsculos organismos que figuran entre los más pequeños que viven en nuestro planeta. Se verían algunas en este modelo, junto a la «boca» del paramecio. Seguirían siendo pequeñas al nivel -3 del ascensor de magnitudes: del tamaño de una *o* impresa en nuestro mundo cotidiano.

La célula —un recinto lleno de líquido, limitado por una superficie membranosa— es la unidad básica de la vida. Nuestro cuerpo las alberga por billones. Las dos criaturas que hemos examinado, el paramecio y la bacteria, constan de una sola célula, a pesar de la diferencia de tamaño. Diríase que cualquiera de las dos tiene más en común con la otra que con nosotros; sin embargo, una clasificación fundamental de los seres vivos coloca el paramecio junto con nosotros en un gran grupo: el de los eucariotas. En este grupo se incluyen prácticamente todos los objetos vivos que nos son familiares, desde el espárrago hasta la cebrá. La otra clase, los procariotas, da cabida esencialmente a las bacterias. La base de esta distinción es la complejidad de la constitución de las células individuales. Podríamos observar las características que nos emparentan con el paramecio si colocáramos un modelo de una célula humana típica en la página del libro al nivel -3 e hiciéramos que ambos —el paramecio y la célula humana— se iluminaran por dentro para poner de manifiesto su contenido.

La célula humana sería del tamaño de una moneda, mucho más pequeña que el paramecio, y carecería de cilios y de poro bucal. Sin embargo, ambas células mostrarían un notable compartimiento interno llamado núcleo. Además, incluirían en su interior una asombrosa serie de sacos, tubos y otras estructuras llamadas orgánulos celulares. Los modelos patentizarían una gran riqueza de estructura interna, y muchas similitudes.

Las bacterias son demasiado diminutas para examinarlas al nivel -3, de modo que tendremos que hacer otro viaje con el ascensor de magnitudes. Pulsamos el botón -6 y vamos a salir al punto de la *i*. Ahora nuestro tamaño normal ha disminuido un millón de veces, mientras que el punto ha multiplicado por mil sus dimensiones al nivel -3: mide unos 300 m de diámetro (el tamaño de un lago pequeño), en tanto que el cuerpo de la letra *i* se extiende a lo largo de 2 km. El borde de la página queda a muchos kilómetros de distancia. No lo pasaríamos bien en una excursión hasta el borde, ni siquiera en un corto paseo por el perímetro del punto, pues el terreno se ha vuelto absolutamente desigual: las gruesas fibras de celulosa que forman el papel se levantan a nuestro alrededor, al tiempo que el suelo está sembrado de grietas y cráteres. Estamos viendo el mundo desde una perspectiva bacteriana.

Junto a nosotros se encuentra una bacteria corriente en forma de cilindro redondeado, de unos 2 m de largo por 1 m de ancho. El paramecio, en cambio, parece un monstruo del tamaño de un

barco de guerra pequeño. Seis filamentos como látigos —los flagelos— sobresalen de la bacteria, todos ellos más largos que su cuerpo, aunque no más gruesos que un dedo. Sirven para impulsar la criatura.

Hemos equipado nuestro modelo de bacteria con iluminación interna, que podemos conectar para examinar su contenido. Señalemos, de paso, que los objetos más pequeños en el interior de una bacteria real no podrían ser examinados con la luz ordinaria, ni siquiera al microscopio. Con la luz visible no es posible distinguir objetos por debajo de cierto tamaño mínimo. Los científicos han explorado la estructura fina de las bacterias, empleando un tipo distinto de iluminación y un instrumento especial: el microscopio electrónico.

Nuestro modelo no presenta tales problemas. Podemos ver un material rígido, como una red —la pared celular—, envolviendo la bacteria, con una membrana muy tenue —la membrana celular— debajo de aquélla. Los flagelos están unidos a estas envolturas mediante una terminación a modo de anzuelo, que contiene una serie de bastoncitos y anillos. El interior de la bacteria muestra diversas complejidades, pero son muchas menos que las presentes en el paramecio o la célula humana. Uno de los orgánulos de cualquiera de estos últimos ocuparía todo el volumen de la bacteria. No hay un núcleo celular en la bacteria, pero se pueden observar algunos orgánulos mucho más sencillos. Diminutas esferas, del tamaño de una moneda, aparecen dispersas por el fluido interno de la criatura, y en algunos casos, cierto número de ellas están unidas por un filamento. Estos objetos, llamados ribosomas, son comunes a todas las células. Otro rasgo de nuestro modelo es una estructura fijada a la cara interna de la membrana celular, que se parece a una cuerda retorcida en numerosas vueltas alrededor de un eje central. Dicha estructura, el cromosoma bacteriano, contiene un compuesto químico llamado ADN.

Todos estos elementos celulares, modestos en cuanto a tamaño aun cuando se observen al nivel -6 del ascensor de magnitudes, no representan sin embargo el nivel más bajo de organización de la vida. Están contruidos con determinados tipos de moléculas dispuestas de modo muy específico. Moléculas que, a su vez, están formadas por átomos enlazados de manera característica. Así pues, hemos de comenzar nuestro estudio de la organización de la vida al nivel de los átomos.

UN UNIVERSO DE ÁTOMOS

Los fundamentalistas religiosos impugnan la teoría de la evolución, y la Sociedad de la Tierra Plana discute incluso la esfericidad de nuestro planeta, pero no existe ninguna organización, que yo sepa, que se oponga a la teoría atómica de la materia. Todos los científicos están de acuerdo en que los átomos existen y definen las propiedades de la materia, aunque son demasiado pequeños para observarlos directamente o con un microscopio. Sin embargo, nosotros podemos observarlos con nuestro ascensor de magnitudes.

Recordemos que nos encontramos al nivel -6, en el que el punto de la *i* ha crecido hasta el tamaño de una laguna. Si examinásemos cualquier objeto de nuestro entorno con atención —una fibra de la celulosa del papel, una mancha de tinta o un flagelo bacteriano—, encontraríamos que es de consistencia granulosa, como la arena de la playa o una reproducción fotográfica en un periódico. Los gránulos, apenas visibles para nuestros ojos, serían los átomos. Resultaría arduo contar el número de los que hay en la bacteria, pues contiene unos 200 millones de ellos. Las diferencias en las clases de átomos presentes y en su disposición son las responsables de las propiedades que distinguen el papel, la tinta y una bacteria entre sí. Para explorar estas diferencias, interrumpiremos nuestro viaje en el ascensor de magnitudes y nos procuraremos la ayuda de otra máquina imaginaria: el *molinillo de átomos*.

Al contrario que nuestro ascensor mágico, esta máquina sí tiene equivalente en el mundo real. Los químicos pueden tomar una sustancia y, tras aplicar diversos procedimientos y utilizar instrumentos varios, determinar las clases de átomos presentes en ella. Nos interesa acelerar el proceso en esta narración, de modo que con nuestro molinillo desmenuzaremos cualquier objeto y determinaremos rápidamente las cantidades relativas de los átomos presentes —redondeándolas al 0,5 %—.

Los átomos desempeñan más o menos la misma función en un objeto que las letras en un texto impreso. En un libro en español se emplean, por lo general, unos 70 a 80 símbolos. Hay 26 minúsculas, 26 mayúsculas, 10 cifras y alrededor de una docena de signos de puntuación corrientes. El Universo alberga más de un centenar de clases distintas de átomos, algunos producidos artificialmente por el hombre y de vida tan corta que desempeñan un papel muy secundario. En el idioma español, la disposición de los símbolos (los llamaremos letras a partir de ahora) en las palabras es más

importante que el número total de letras presentes de un tipo particular. Este libro, una novela corriente y la Biblia tienen probablemente una proporción similar de la letra s, o de la e. Si difirieran, raro sería que tal diferencia guardara una relación significativa con el contenido de tales libros. Sin embargo, cuando se estudian objetos reales, cuentan tanto las clases de átomos presentes como su disposición; lo ilustraremos empleando el molinillo de átomos.

Para comenzar, dejaremos que pase una corriente de aire por la máquina. Ésta zumba, resopla y escribe el resultado: nitrógeno, 77 %; oxígeno, 21 %; hidrógeno, 1 %; argón, 0,4 %; otros átomos, únicamente en trazas. Del centenar largo de átomos posibles, sólo cuatro se presentan en cantidades significativas. La disposición de los átomos en el aire también es simple. Para ilustrarlo, recurriremos de nuevo a nuestro idioma a título de comparación. Las letras se organizan en palabras, mientras que los átomos se unen mediante enlaces químicos para formar moléculas. Rara vez una palabra sobrepasa las veinte letras, mientras que las moléculas pueden tener muchísimos átomos. No obstante, en el aire sólo aparecen, en cantidades significativas, moléculas simples, equivalentes a las palabras de una, dos o tres letras. El argón sólo figura en forma de átomos aislados; pertenece a una clase denominada gases nobles o inertes. Estos átomos no establecen enlaces y no participan en la formación de moléculas. En el aire, los átomos de nitrógeno se unen por pares para formar moléculas. Los átomos de oxígeno se comportan de manera análoga. Los de hidrógeno se combinan con el oxígeno en la proporción 2:1, formando una molécula cuya descripción química es H_2O , y que conocemos mejor por el nombre de agua.

Se ha de añadir un comentario adicional para explicar lo etéreo del aire. Las diversas moléculas del aire no se encuentran agrupadas, sino que se mantienen muy separadas entre sí. A modo de analogía, piénsese en un libro con sólo unas cuantas palabras dispersas en cada página.

Para proseguir nuestra exploración, echemos un poco de agua en el molinillo atómico, que enseguida imprime el resultado: hidrógeno, 67 %; oxígeno, 33 %. La composición del agua líquida es la misma que la del agua en el aire. Un trozo de hielo puesto en el molinillo proporcionará el mismo resultado. El agua sólida y la líquida difieren de la forma gaseosa en que sus moléculas están juntas, no separadas como en el aire. No obstante, para explicar la diferencia entre el agua sólida y la líquida sería mejor cambiar de me-

táfora y pensar en un grupo de individuos. El estado líquido recuerda una pista de baile abarrotada, en la que los bailarines se mueven de aquí para allá y se empujan unos a otros. Para visualizar el estado sólido, piénsese en un teatro lleno, donde los espectadores están muy apretados, pero cada cual en su localidad.

Seguidamente analizaremos una muestra de bacterias para ver qué átomos se emplean en la construcción de la vida. Supóngase que recogemos una buena provisión de ellas en una charca y que las echamos en el molinillo atómico. Una vez que la máquina las ha triturado, he aquí el resultado: hidrógeno, 61 %; oxígeno, 27 %; carbono, 8 %; nitrógeno, 2,5 %. Hay otros muchos elementos, pero ninguno llega al 0,5 %. (La palabra «elemento químico» se utiliza a veces como sinónimo de la expresión «clase de átomo». Podemos, pues, decir que el Universo contiene más de un centenar de elementos.) Cuatro son los principales elementos químicos constitutivos de las bacterias; tres de ellos abundan también en el aire y en el agua, y el cuarto, el carbono, es más secundario en nuestro medio ambiente, pero desempeña un papel crucial en la construcción de la vida. Alrededor del 70 % del peso de una bacteria es agua; el resto es una mezcla de moléculas de gran complejidad.

Hemos analizado el aire, el agua y los seres vivos; intentémoslo ahora con la Tierra. Se cree que el centro de nuestro planeta es, en su mayor parte, de hierro fundido, mas no es éste el punto que ahora nos interesa. Deseamos conocer la composición de la corteza, de las rocas superficiales que interaccionan con la vida. Seleccionamos una roca cuya composición refleja la de la corteza como un todo y la echamos al molinillo. El análisis que nos proporciona la máquina es el más largo de cuantos nos han llegado hasta ahora: oxígeno, 48 %; silicio, 28 %; aluminio, 4,5 %; calcio, 3,5 %; potasio, 2,5 %; magnesio, 2 %; y varios elementos más con menos del 1 %.

Sólo el oxígeno ha aparecido en los análisis previos. El silicio es un componente importante de las rocas y desempeña, en cierto modo, la misma función estructural que el carbono en la materia viva. Se une con varios átomos a la vez y forma moléculas de tamaño muy grande. Los últimos cuatro elementos de la lista son metales. Algunos metales nos son familiares en la cocina o en el taller mecánico, donde los hallamos en estado libre (no combinados químicamente con otras sustancias). En dicho estado, son los materiales brillantes, duros, conductores del calor, que se emplean para hacer herramientas, monedas, armas y edificios. Lo más frecuente

es que los átomos metálicos presentes en las rocas estén combinados químicamente y muestren propiedades muy distintas, como la herrumbre difiere del hierro.

Así pues, en la exploración marciana descrita al comienzo de este capítulo, la determinación de las clases de átomos presentes en cada mancha y de sus cantidades relativas habría servido para decirnos si se trataba de un líquen o de un mineral. Lamentablemente, la sonda espacial Viking no tenía capacidad para ello.

Por consiguiente, el análisis químico basta para detectar la diferencia entre un líquen y un mineral, o entre un perro y una roca; sin embargo, no explica la diferencia entre lo vivo y lo inerte. Podríamos preparar fácilmente una mezcla que contuviera carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno, pero no estaría viva. Como hemos visto, las tres últimas clases de átomos abundan en una mezcla de agua y aire. No costaría nada añadir carbono a la combinación; podríamos elegir para ello el dióxido de carbono, un gas que tan familiar nos es como burbujas del agua de Seltz. A modo de alternativa, podríamos añadir caliza, un tipo de mineral que contiene mucho carbono, o emplear diamantes, que son prácticamente carbono puro. Ninguna mezcla de aire, agua y cualquiera de estas sustancias tendría el más mínimo parecido con la vida. Tampoco serviría de nada añadir los diversos átomos presentes en la vida como trazas. Es evidente que anda de por medio mucho más que la composición atómica. Debemos estudiar con más detalle cómo se organizan los átomos en moléculas. El carbono será nuestro foco de atención prioritario, pues intentamos comprender en qué se diferencia lo vivo de lo inerte en el nivel más bajo de organización.

Las propiedades del carbono han dado lugar a una vasta química de tal complejidad que a su estudio se ha dedicado toda una disciplina, la química orgánica. En comparación, todos los demás elementos se incluyen en una única área de estudio denominada química inorgánica.

Los átomos de carbono tienen una fantástica capacidad para unirse con otros de su misma clase y de otras clases para formar cadenas cuya longitud varía de dos a varios millones de átomos. Cadenas de tamaño longitud son características de muchas moléculas importantes para la vida.

Pero volvemos a lo mismo: estas circunstancias no definen la vida. Hubo un tiempo, allá por los albores del siglo XIX, en que se creyó que la división entre química orgánica e inorgánica era la base que separaba la materia viva de la inanimada. Hoy día sabe-

mos mucho más. Ciertos meteoritos, por ejemplo, contienen una mezcla compleja de compuestos orgánicos, con cadenas de diversa longitud. Sin embargo, no albergan vida, ni existe indicio alguno de que hayan estado nunca en contacto con la vida antes de caer en la Tierra. Para complicar más las cosas, las rocas contienen también largas cadenas de átomos, si bien de una clase distinta. Los átomos de silicio prefieren el oxígeno como compañero de enlace, y juntos componen un grupo de átomos llamado silicato. En las rocas, los silicatos se unen a su vez para formar largas cadenas. La química de estas sustancias es muy compleja y está menos explorada que la del carbono. El quid de la diferencia entre lo vivo y lo inerte a escala molecular no radica en la presencia de un carácter particular, como pueden ser las largas cadenas de átomos, sino más bien en la organización e identidad de las moléculas. Para ilustrar este punto, exploremos el interior de un grano de arena al nivel -8 del ascensor de magnitudes. En nuestro modelo de esta escala emplearemos bolas pequeñas, desde el tamaño de una uva hasta el de una pelota de golf, para representar los átomos. Además, utilizaremos colores para facilitar la identificación de los distintos átomos.

Si tomamos muestras al azar en varios puntos del interior del grano de arena, por lo general encontraremos lo mismo en todos ellos: una red tridimensional de átomos de silicio y oxígeno alternados, prolongándose indefinidamente en todas direcciones. El nombre químico común que se da a tan monótona sustancia es cuarzo. También podemos hallar una monotonía semejante en otros materiales. Un diamante, por ejemplo, es una red tridimensional repetitiva, formada exclusivamente por átomos de carbono.

Muy distinta sería la experiencia que nos depararía idéntica exploración en el seno de una bacteria. La membrana aparecería como una pared gruesa, con diversas estructuras empotradas en ella. Su interior estaría constituido fundamentalmente por dos clases de átomos, carbono e hidrógeno, mientras que los de oxígeno formarían una especie de bordado de la superficie externa de la membrana. Un ribosoma vendría a ser un objeto de forma más o menos acorazonada, con un diámetro equivalente a nuestra propia altura. Si lo inspeccionásemos detenidamente, repararíamos en que está formado por dos partes independientes, cada una de las cuales alberga cierto número de grandes y complicadas moléculas, engastadas en un inmenso rompecabezas tridimensional.

Experiencias diferentes, aunque igualmente complejas, nos depararía la inspección de otros puntos de la bacteria. Al nivel -8 del

ascensor de magnitudes en que nos encontramos, la criatura completa sería comparable a un transatlántico en cuanto a tamaño y complejidad. Sería una empresa descomunal explorar toda su estructura, átomo por átomo, y a ella se han dedicado precisamente los bioquímicos durante décadas. No han gozado de las ventajas de una visualización directa, como nosotros en nuestro viaje imaginario, sino que han tenido que recurrir a métodos indirectos y laboriosos. Sólo han concluido en parte la tarea, pero sus hallazgos han hecho posible el modelo presentado en este capítulo. No es éste lugar para revisar las técnicas que emplearon, o los detalles de sus descubrimientos, lo cual exigiría muchos volúmenes de adecuada presentación. Con todo, nos detendremos en ciertas características clave, importantes para comprender los problemas referentes al origen de la vida. Para simplificar nuestra labor, emplearemos la analogía del libro.

LOS IDIOMAS DE LA VIDA

Este libro contiene varios centenares de miles de letras, que llevan mucha más información de la que llevarían si simplemente las mezcláramos en una sopa alfabética. En el primer nivel de organización, las letras se agrupan en palabras. Las palabras por sí solas no transmiten mucha información. Si nos ofrecieran este libro reducido a lo que llamaremos una sopa de palabras, adivinaríamos que está escrito en español y que, probablemente, trata sobre algún tema científico, pero poco más. Para que podamos acceder al mensaje que contiene este libro, las palabras deben ordenarse en frases y las frases en párrafos y capítulos dispuestos en el orden adecuado. Tal organización puede ser comparada con la de una bacteria. Los átomos se agrupan en moléculas, como las letras en palabras. Estas moléculas se unen para formar otras mayores, las macromoléculas, que equivaldrían a la combinación de palabras para formar frases largas, del tamaño de párrafos. Las macromoléculas se combinan para formar estructuras mayores, como los ribosomas, del mismo modo que los párrafos se agrupan en capítulos. Un ribosoma sería equivalente a un capítulo larguísimo, pues tiene quizá tantos átomos como la mitad de las letras de este libro. La culminación de estos sucesivos niveles de organización es el acoplamiento de los orgánulos celulares que forman la bacteria, del mismo modo que los capítulos forman un libro.

Pero hemos de modificar esta analogía si queremos estudiar las cosas con más detalle. Este libro está escrito en un idioma: el español. El «libro» bacteriano, en cambio, está escrito en cuatro «idiomas» diferentes, segregados en frases o capítulos distintos. Sus nombres, familiares por los regímenes dietéticos y las obras de divulgación científica, son: grasas, hidratos de carbono, proteínas y ácidos nucleicos.

LAS GRASAS: PROTECCIÓN Y ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA

Las bacterias no tienen problemas de obesidad en la cintura. No hacen régimen por gusto. Las grasas les sirven para diversos fines, de los que aquí mencionaremos uno. Las grasas actúan como una piel, constituyendo buena parte de la llamada membrana celular, una especie de barrera que aísla el contenido de la célula de su medio ambiente externo. Su resistencia al agua les permite desempeñar esta función, ya que ni el agua ni las sustancias muy solubles en ella pueden atravesar una lámina de grasa con facilidad.

Esta naturaleza hidrófuga de las grasas se debe a la abundancia en ellas de átomos de hidrógeno y a la escasez de átomos de oxígeno y nitrógeno. Los químicos califican este estado rico en hidrógeno de «reducido», mientras que el opuesto, rico en oxígeno y pobre en hidrógeno, recibe el nombre de «oxidado». Entre las moléculas más corrientes de los seres vivos, las grasas son las más reducidas. Por mal camino iríamos si intentáramos aplicar estos conceptos a nuestras dietas: ¡un régimen rico en grasas no reducirá, por lo común, nuestro peso!

La pequeña proporción de oxígeno presente en los lípidos grasos es importante para su función biológica. Además los diferencia de un grupo de sustancias, en su mayoría no biológicas, compuestas sólo de hidrógeno y carbono, denominadas, muy oportunamente, hidrocarburos. La distinción entre unos y otros viene subrayada cada cierto tiempo por algún desdichado que sustituye el aceite de ensalada por aceite de motor —una mezcla de hidrocarburos—, a veces con resultados fatídicos.

En los seres vivos actuales, los hidrocarburos, a diferencia de las grasas, desempeñan una función secundaria. Pero el hidrocarburo más sencillo, el metano (un componente del gas natural), tiene una importancia muy especial en ciertas teorías acerca del origen de la

vida. Según éstas, el metano fue abundante en la atmósfera durante los primeros tiempos de la Tierra, y su carbono se utilizó en la construcción de las moléculas necesarias para el arranque de la vida. Volveremos sobre este tema más adelante.

LOS HIDRATOS DE CARBONO: DULCES Y RESISTENTES

Los hidratos de carbono constituyen otro importante «idioma» de la bioquímica. Las «palabras» individuales de este idioma son los azúcares, mientras que las «frases» que se forman cuando dichas palabras se combinan reciben el nombre de polisacáridos. Azúcares y polisacáridos componen el grupo de los llamados hidratos de carbono. El prefijo «poli» significa simplemente «muchos» (como en poligamia: muchas mujeres), mientras que la terminación «sacárido» significa «azúcar» o «dulce». (No se incluye en este grupo el producto químico sintético llamado sacarina, que, aunque dulce, no es un azúcar.)

La combinación de azúcares individuales en unidades mayores comporta un principio opuesto al que entraña combinar palabras en frases. Añadimos algo, un espacio, cuando agrupamos palabras. Eliminamos algo cuando se combinan azúcares u otras «palabras» bioquímicas, como aminoácidos o nucleótidos. Este algo es una molécula de agua. Si las partes se han de separar de nuevo en una etapa posterior, habrá que devolverles el agua. Cada vez que se añade una unidad a una cadena de azúcares en crecimiento, se libera una nueva molécula de agua. En la formación de una cadena polisacáridica de 100 unidades, por ejemplo, se liberarán 99 moléculas de agua.

Aunque se podrían preparar miles de azúcares en el laboratorio, sólo un puñado son importantes para la biología. A menudo, las cadenas polisacáridicas se presentan constituidas por un solo tipo de azúcar, lo cual acentúa la monotonía. Empero, cabe introducir cierta variedad durante el proceso de unión, y de una manera que no tiene paralelo en los idiomas humanos. Por ejemplo, un azúcar extraordinariamente importante, la glucosa, da lugar a polisacáridos de gran importancia. Si las unidades de glucosa se encadenan de una cierta manera, obtenemos el almidón, que ingerimos con el pan, las patatas y otros alimentos. Únanse las unidades de glucosa de otro modo y el resultado es la celulosa: el principal ingrediente del papel y el algodón. La diferencia química es nimia; sin embar-

go, nuestro cuerpo la tiene en cuenta. Podemos digerir el pan, pero no el algodón.

El almidón y la celulosa ilustran las dos funciones comunes de los hidratos de carbono: como reserva nutritiva y como material estructural, respectivamente. No se necesita variedad para tales fines. La situación cambia, sin embargo, cuando estudiamos las restantes clases de moléculas importantes para la vida: las proteínas y los ácidos nucleicos.

LAS PROTEÍNAS: ELLAS EFECTÚAN EL TRABAJO

La diversidad prolifera entre las proteínas, la clase de macromoléculas cuya construcción más se asemeja a los idiomas humanos. Los organismos vivos emplean veinte unidades diferentes, los aminoácidos, para construir proteínas. Dichos aminoácidos se presentan en secuencias lineales, variables y no repetitivas, como las palabras en nuestro idioma. Al haber perdido la capacidad de fabricar casi la mitad de los que nos son necesarios, los seres humanos debemos adquirirlos con los alimentos que ingerimos, razón por la cual tienen una gran importancia en nuestra nutrición. Las bacterias, a pesar de su tamaño, son mucho más versátiles. Proporcionándoles una sustancia que contenga carbono orgánico, como la glucosa, y fuentes inorgánicas para los demás elementos esenciales, manufacturarán alegremente el conjunto completo de veinte aminoácidos y cuantos compuestos orgánicos necesiten.

No sabemos por qué la totalidad de las formas vivientes que conocemos en la Tierra han seleccionado para construir las proteínas este conjunto particular de aminoácidos entre los muchos miles conocidos por la química. Reténganse en la memoria los dos más sencillos de la serie, la glicina y la alanina, pues serán importantes en un momento posterior de nuestro relato.

La naturaleza ha sido muy selectiva no sólo en la elección de este exclusivo conjunto de veinte aminoácidos, sino también en otro aspecto. Todos menos el más sencillo, la glicina, se dan en formas que son como un objeto y su imagen en un espejo. Dichas formas contienen los mismos átomos unidos de idéntica manera, y sin embargo no son la misma sustancia, pues guardan entre sí una relación como la que hay entre el guante de la mano izquierda y el de la mano derecha. No todas las estructuras orgánicas, pero sí un buen número de ellas, se presentan en formas de tal naturaleza.

Para encontrar una analogía, basta con que examinemos nuestra escritura: algunas letras, como la C, la G o la E, por ejemplo, diferirán de su imagen en un espejo, mientras que otras, como la T, la O o la I, serán idénticas.

Estas formas simétricas han recibido, arbitrariamente, el nombre de formas «dextro» («D») y «levo» («L»), que significan derecha e izquierda respectivamente. Los seres vivos sólo emplean aminoácidos «zurdos» en las proteínas. En cambio, los azúcares de los organismos vivos son predominantemente diestros. El porqué de esta elección es, como antes, un misterio, y tema de continua polémica. La diferencia entre estas formas, insignificante en términos físicos y químicos, nos es vital. Si comiéramos aminoácidos y azúcares de la mano indebida, moriríamos de hambre.

Las proteínas, como los polisacáridos, son empleadas en biología con fines constructivos. Las encontramos formando el pelo, el cuero, la seda y la lana. Pero no es ésta su función principal. Una subclase de proteínas, los enzimas, tiene una importancia sin par. Los enzimas actúan como catalizadores biológicos, acelerando las reacciones químicas esenciales para la vida. En resumen, realizan el trabajo y hacen que ocurran cosas en la célula.

LOS ÁCIDOS NUCLEICOS: ELLOS CONTIENEN LOS PLANOS

No menos crucial es la función desempeñada por los ácidos nucleicos, la última clase importante de moléculas biológicas que vamos a examinar. Los ácidos nucleicos contienen la información genética de la célula, las instrucciones necesarias para que la célula haga su trabajo. El «idioma» de los ácidos nucleicos presenta dos «dialectos» estrechamente relacionados: el del ADN y el del ARN. El depositario último de la información, la sustancia de nuestros genes, es el ácido desoxirribonucleico, o, abreviadamente, ADN. Las órdenes contenidas en el ADN de una célula determinan si será una bacteria o se convertirá en árbol o en ser humano.

En el diseño del ADN, la materia viva ha adoptado el mismo plan básico empleado en las proteínas y los polisacáridos. Como en estos casos, se monta una molécula gigante uniendo muchas subunidades en fila, con la correspondiente liberación de agua para establecer cada enlace. La subunidad utilizada para construir un ácido nucleico recibe el nombre de nucleótido. No obstante, los nucleó-

tidos son más complicados que los aminoácidos o los azúcares. Cada nucleótido está formado a su vez por tres elementos más pequeños (o subsubunidades): una base nitrogenada, un azúcar y fosfato. Estos elementos se unen entre sí de una manera muy precisa (sólo una entre las docenas de posibilidades existentes), con el desgajamiento de dos moléculas de agua durante el proceso. Cuando los nucleótidos se combinan para formar un ácido nucleico, el azúcar de uno se une al fosfato del siguiente para configurar una larga cadena que contiene a ambos en alternancia. Las bases cuelgan de esta cadena cual dijes en un collar.

Estas bases desempeñan la función práctica de almacenar información. Cuatro distintas se emplean en el ADN, y el orden en que se presentan a lo largo de la cadena guarda la información, como las palabras en una frase o los números en una computadora. La diferencia física entre usted y yo, por grande que pueda ser ahora, consistió única y exclusivamente en un principio en el orden de las bases a lo largo de las cadenas de ADN de dos óvulos fertilizados.

Todavía no hemos descrito el ADN en toda su complejidad. En las células vivas, las dos cadenas o hebras de ADN se enrollan una en torno a la otra, formando una estructura conocida como doble hélice. Dentro de la hélice, cada base de una cadena encuentra pareja en la otra y establece enlaces químicos débiles con ella. A tal fin, cada base requiere una pareja específica, de modo que no se unen al azar. La unión de dos bases apropiadas en el ADN se conoce como par de bases. A causa del requisito de que cada base de una cadena de la doble hélice tenga una pareja específica, el orden de las mismas en una de las cadenas fija el orden en la otra. A lo largo de cada hebra se guarda idéntica información, pero en formas distintas. Las reglas que rigen los pares de bases y la estructura del ADN fueron deducidas por Francis Crick y James Watson en la Universidad de Cambridge, en 1953. Su contribución es tenida por uno de los hitos de la ciencia moderna, por una de las piedras angulares de la biología molecular.

El otro ácido nucleico, el ribonucleico —abreviadamente, ARN— no sirve para almacenar información, sino para garantizar que se ejecutan las órdenes inscritas en el ADN. Desempeña varias funciones al actuar de ese modo, como veremos en breve cuando sigamos a nuestra bacteria en una aventura. Los nucleótidos empleados para construir el ARN difieren sólo ligeramente de los del ADN. Sin embargo, el ARN presenta en muchos casos una única hebra, no una doble hélice.

Así pues, la función del ARN en las células vivas actuales es hacer de intermediario en la transferencia de información del ADN a las proteínas. Pero esto no tiene por qué haber sido siempre así, y más adelante consideraremos la hipótesis de que el ARN evolucionó antes que el ADN y actuó como almacén de información durante un tiempo.

Hemos descrito los principales «idiomas» de la biología, las grandes moléculas empleadas en la construcción de una célula. Ahora debemos apartarnos de la analogía lingüística. Un libro contiene información, pero no la aplica. Las bacterias, como otras criaturas vivas, hacen cosas, y cambian según se ocupan de diversos asuntos. Para apreciar estos aspectos de la vida bacteriana, seguiremos las aventuras de una bacteria durante un tiempo, observándola con la ayuda del ascensor de magnitudes.

LA JORNADA DE UNA BACTERIA

Nada más llegar nosotros al escenario de la acción, nuestra bacteria ha localizado una provisión de glucosa y está paciéndola en ella. No utiliza boca para ello, pues no la tiene. Las moléculas de glucosa pasan a través de una pared celular rígida, reticular, y se aproximan a la membrana que queda inmediatamente debajo. La pared celular confiere a la bacteria su forma característica y la protege mecánicamente. Colocadas en agua dulce, las bacterias se hincharían y reventarían si no contaran con el sostén de la pared celular.

La grasa de la membrana celular preserva el interior de la bacteria de la invasión de sustancias extrañas. Pero dicha membrana no le sería de utilidad a la bacteria si no existiera cierto tránsito a su través. Varias puertas, hechas de proteínas, controlan el paso de materia hacia dentro y hacia afuera. Las moléculas de glucosa individuales alcanzan la membrana y se les da la bienvenida en las puertas adecuadas. Entran fácilmente, como cucarachas en un hotel de ínfima categoría. Una vez dentro, no vuelven a salir. Según entran, se las etiqueta mediante la unión con un fosfato, y así marcadas quedan retenidas en el interior de la célula.

¿Qué destino les aguarda? El de ser devoradas, digeridas, utilizadas como alimento para proveer la energía necesaria. Tal es su fin en todos los sistemas vivos, tanto en las bacterias como en nosotros mismos. La vida, como una máquina o un automóvil, debe obtener energía para funcionar. Si no recibe perturbaciones de su

entorno, una roca puede perdurar durante millones de años. A diferencia de la roca, nuestros compuestos químicos distan mucho de su estado de máxima estabilidad, es decir, de equilibrio químico. Recuerdan más una serie de pelotas mantenidas en el aire merced a la actividad constante de un malabarista. Se necesita un abastecimiento más o menos continuo de energía para mantener esta actividad.

A modo de ejemplo más pertinente, supongamos que nuestra bacteria quiere construir una proteína nueva. Ha de enlazar aminoácidos, liberando agua. El agua abunda tanto en el interior de la bacteria como en su entorno. La producción de más agua será tan bien acogida como la arena en el desierto. El proceso que lleva al equilibrio químico es el contrario: la descomposición de las proteínas bacterianas existentes, con el consiguiente consumo de moléculas de agua. Nuestra bacteria, sin embargo, desea construir más proteínas en lugar de verse destruida. A tal objeto, necesita energía. Un principio conocido como primera ley de la termodinámica establece que la energía no puede ser creada o destruida, sino que sólo puede ser transformada de una forma en otra (dentro de ciertos límites). Nuestra criatura necesita, pues, una fuente de energía.

La glucosa, y prácticamente cualquier otra molécula orgánica, supone una provisión de energía química. Cuando se combina con el oxígeno, existente en la mayoría de los ambientes de la Tierra, reacciona para formar dióxido de carbono y agua, liberando la energía almacenada. Esta reacción se desarrolla con bastante rapidez a elevadas temperaturas, como podemos observar aplicando una llama al azúcar o al papel. A temperaturas normales, dichas reacciones acontecen con demasiada lentitud para que tengan importancia —lo cual es una suerte para nosotros, pues de otro modo nos inflamaríamos y descompondríamos en contacto con el aire—.

Pero volvamos a la combinación glucosa-fosfato en el interior de la bacteria. Esta molécula se mueve al azar y, al hacerlo, se encuentra con una serie de enzimas que la despiezan paso a paso. El oxígeno participa en esta secuencia de reacciones y en último término se produce dióxido de carbono y agua. Cuando se quema glucosa en una llama, la energía que almacena se desprende en forma de calor. Sin embargo, en el proceso controlado por los enzimas, parte de dicha energía queda atrapada y almacenada en otra molécula: el adenosintrifosfato, o, abreviadamente, ATP. La energía del ATP es liberada cuando se necesita para la construcción de una proteína o para otras actividades de la célula.

¿Qué propiedad permite que cada molécula enzimática desempeñe su propia función específica? Fundamentalmente su forma tridimensional particular, controlada por el orden preciso en el que los aminoácidos que la integran están enlazados. Si viajásemos por nuestro modelo de bacterias, veríamos multitud de enzimas y otras proteínas de forma y tamaño diversos, realizando las actividades de la célula. Las proteínas estarían construyendo macromoléculas diversas, reparando otras, transportando moléculas de aquí para allá y asegurando el suministro de energía.

Al comienzo de los acontecimientos que hemos descrito, nuestra bacteria disponía de una amplia provisión de glucosa. La glucosa no es una materia prima natural en este planeta, como lo es el agua y la arena. ¿De dónde procede?

El Sol es la fuente última de la mayor parte de la energía para la vida en la Tierra. La energía solar es captada mediante un proceso llamado fotosíntesis. Diversos organismos, que van, en cuanto a tamaño, desde las secuoyas a los procariotas microscópicos conocidos como bacterias azules, desempeñan esta función. En la variante más significativa de la fotosíntesis se emplea dióxido de carbono, agua y luz visible del sol para producir hidratos de carbono y liberar oxígeno, invirtiendo así el proceso efectuado en el interior de la bacteria. De manera indirecta, la bacteria es aprovisionada de combustible por la luz del sol.

Las bacterias pueden vivir recurriendo a fuentes de energía distintas de la glucosa. Toda una gama de moléculas orgánicas servirá a tal fin, y algunas especies han aprendido a liberar energía mediante la combinación de compuestos químicos inorgánicos con oxígeno. En principio, cualquier reacción química adecuada que dispense energía podría ser adaptada al mantenimiento de la vida. De cara a nuestro relato, vamos a desafiar a nuestra bacteria de una manera concreta. De repente se acaba la provisión de glucosa y encuentra un hidrato de carbono menos familiar: la lactosa. La molécula de lactosa se presenta normalmente en la leche. Contiene dos unidades de azúcar —una de ellas glucosa— unidas de una manera nada frecuente. Según la bacteria se desplaza por esta provisión de lactosa, algunas moléculas se abren paso a través de una puerta y penetran en la célula, pero no pueden ser digeridas. Primero hay que separar los dos azúcares, y en el interior de la célula no hay enzimas para tal fin.

Para escenificar esta crisis, la describiremos en primer lugar como una fábula, y luego, con más precisión, en términos molecu-

lares. La fábula comienza en una sala con el rótulo «Centro de Control Bacteriano». Dentro, el comité de duendes que controla esta complicada entidad se muestra sobresaltado.

«¡Vaya problema! —señala uno—. Hemos agotado el combustible de calidad, las existencias de energía son escasas y llegan expedidas en este extraño material, que nadie sabe cómo manipular. ¿Qué haremos?»

«Lo mejor será consultar la sección de emergencias del manual de funcionamiento», responde otro duende. Se precipitan hacia una gran sala polvorienta, repleta de archivadores cerrados. Van y vienen con un manojo de llaves, y, al abrir los archivadores, lo revuelven todo dominados por el pánico. Transcurrido cierto tiempo, se oye un grito de triunfo. Uno de los duendes saca una carpeta con una descripción detallada del nuevo combustible y una serie de planos para la construcción de una máquina que puede utilizarlo.

«Bajen rápidamente estos planos al almacén —ordena el duende jefe—. Espero que tengan las piezas para montar este artilugio.» Por suerte, hay una buena provisión de las piezas necesarias para el montaje de la unidad. En breve, la nueva máquina traquetea, quemando lactosa como combustible.

Al cabo de un tiempo, la bacteria abandona la provisión de leche y entra de nuevo en el torrente de azúcar. En ese momento se desmonta la maquinaria de comer lactosa y las piezas se destinan a otros cometidos. Los planos son cuidadosamente devueltos a su sitio en el archivador, y éste es cerrado de nuevo.

En el mundo real de una bacteria acontece algo similar a lo descrito en la fábula. El archivador es el ADN; una molécula de ARN lleva consigo los planos; el taller es el ribosoma; las piezas de repuesto son los aminoácidos, preparados de una manera especial para el montaje de proteínas; y la máquina nueva es un enzima que puede atacar la lactosa.

Cuando el ADN está en forma de doble hélice, la información es inabordable, como en un archivador cerrado. Para abrir el archivador hay que separar las hebras en la región que contiene la información deseada. Este proceso, facilitado por proteínas, acontece de continuo durante el normal funcionamiento de una célula. Se fabrica una copia del tramo de información deseado, montando una molécula de ARN, de mediana longitud, que se empareja con la secuencia de bases de una de las cadenas de ADN. Por lo general, se emplea la palabra «gen» para designar un tramo de ADN con información suficiente para construir una proteína.

El ejemplar de ARN que contiene la información archivada en el ADN recibe el nombre de ARN mensajero. Una vez que el mensajero ha sido construido y ha partido, la hélice de ADN se cierra de nuevo. El mensajero llevará su mensaje a un ribosoma. Esta estructura actúa como línea de montaje para la fabricación de proteínas. Diversas moléculas cortas de ARN, de una clase llamada ARN de transferencia, llevarán los aminoácidos necesarios hasta el ribosoma. Cada molécula de ARN de transferencia se especializa en el transporte de un tipo de aminoácido. El propio ribosoma es un intrincado dispositivo formado por más de cincuenta moléculas de proteínas y ARN (conocido este último como ARN ribosómico), dispuestas según un orden tridimensional específico. En el ribosoma, la información presente en la secuencia de bases del ARN mensajero será utilizada para dirigir la construcción de una proteína que contendrá una determinada ordenación de aminoácidos. Este proceso de conversión informativa del idioma de los ácidos nucleicos al de las proteínas recibe un nombre muy apropiado: traducción. Las normas que rigen esta conversión, el llamado código genético, son prácticamente generalizables a todos los organismos conocidos, desde las bacterias hasta el ser humano.

El flujo de información antes descrito —del ADN al ARN, y de éste a las proteínas— desempeña un papel decisivo en los procesos de la vida en la Tierra. Enunciado por vez primera por Francis Crick, está considerado como el dogma central de la biología molecular. A veces se resume este proceso con la frase «el ADN fabrica el ARN que fabrica las proteínas».

Lo que hemos descrito es el funcionamiento normal de una célula, pero en la crisis desencadenada por la lactosa hay que considerar algunos aspectos adicionales. El archivador de la lactosa no está simplemente cerrado, sino cerrado con llave. Un pestillo, una determinada molécula de proteína, bloquea la hélice de ADN en la vecindad del gen para el enzima que puede atacar la lactosa, impidiendo el paso a las proteínas que abren la hélice. Por suerte, una llave puede correr el pestillo, y dicha llave es la propia lactosa. Cuando algunas moléculas de lactosa penetraron en la bacteria de nuestra historia, una logró llegar hasta el ADN y se combinó con el «pestillo» proteico, retirándolo de la hélice: de este modo quedó expedito el camino para la fabricación del enzima en cuestión.

En un momento posterior, con toda la lactosa disponible ya digerida por el nuevo enzima, el pestillo proteico se vio libre para volver a su primitiva posición en el ADN, bloqueando el gen del

enzima que digiere la lactosa. La bacteria retornó al modo de funcionamiento normal.

Durante todos estos acontecimientos, el ADN actuó únicamente como almacén de información; no obstante, desempeña también otra función vital en el ciclo biológico de una bacteria. Supongamos que nuestro ejemplar ha prosperado con esta dieta de glucosa y lactosa, y que ha aumentado de tamaño considerablemente. En cierto momento, solventará el problema del sobrepeso escindiéndose en dos bacterias. Como preparación para tal acontecimiento, tendrá que fabricar una copia íntegra de la doble hélice de ADN, de modo que cada miembro de la generación siguiente tenga una dotación completa de instrucciones para vivir. Al menos veinte «comadronas» proteicas, así como varios fragmentos de ARN, participan en este procedimiento de copiado. La doble hélice de ADN, que en una bacteria puede albergar cuatro millones de nucleótidos, se abrirá de extremo a extremo, por etapas, y se montarán dos nuevas cadenas que casen con cada una de las originales. Una vez completado el proceso, se repartirán los restantes activos de la célula, y se construirán porciones adicionales de membrana y pared para proceder a la separación definitiva.

El relato anterior no es más que un atisbo de las complicaciones que llenan la vida de las bacterias. Se han escrito libros y libros sobre el tema. Para nuestros propósitos no necesitamos entrar en estos detalles, pero hemos de recordar que son criaturas complejas, a pesar de su tamaño. Ahora dirigiremos nuestra atención a las formas de vida mayores.

LA UNIDAD BIOQUÍMICA DE LA VIDA EN LA TIERRA

Dejemos los niveles inferiores del ascensor de magnitudes y examinemos a simple vista las plantas y animales que nos son familiares. Su diversidad nos asombra: las abejas, los árboles y los chimpancés parecen tener poco en común. La diversidad es también sorprendente a escala celular, incluso en un organismo sencillo. Las células nerviosas, las adiposas, las musculares, todas ofrecen un aspecto distinto y se comportan de manera muy diferente. Estas células eucariotas presentan además una gran complejidad en comparación con una bacteria. Si cada tipo celular de cada criatura tuviera su propia dotación de compuestos químicos y su propia organización celular básica, el estudio de la bioquímica sería intermi-

nable. Afortunadamente, no ocurre así, pues por debajo de todas estas variaciones existe una similitud bioquímica esencial.

En todos los organismos conocidos, los ácidos nucleicos son los portadores de la herencia, las proteínas son fabricadas en los ribosomas, se emplea el mismo conjunto de aminoácidos para construir las proteínas, la energía se almacena en el ATP y se utiliza un código genético casi idéntico. Otras muchas características son también comunes a todos ellos. De la misma manera que el juego de construcción de un niño sirve para construir una casa de juguete, un puente o una noria, los mismos elementos del equipo bioquímico se pueden usar para construir las diversas formas de vida que conocemos.

Una vez comprendido este concepto, podemos entender las variaciones sobre el tema común que se dan a escala molecular y utilizarlas como claves para seguir la pista de la evolución. Una sorprendente diferencia entre eucariotas y procariotas atañe a la manera de organizarse los genes en el ADN. Si, por ejemplo, imaginamos que en un gen bacteriano se dice en el idioma del ADN algo así como «aquí están los planos para la construcción de una proteína que digiere la lactosa», el gen equivalente de un organismo superior podría decir algo así como «aquí están los planos ra ra ra para la construcción de alirón alirón una proteína que digiere la lactosa». La frase está interrumpida por «cuñas comerciales», mensajes que no hacen al caso, llamados intrones por los bioquímicos. A qué obedece esto, no está claro. Si los eucariotas aparecieron por evolución de los procariotas, hemos de averiguar por qué esta evolución trajo consigo la inserción de materia extraña en unos mensajes perfectamente correctos.

Sin embargo, es evidente que estos añadidos no llegan nunca a los ribosomas. Si lo hicieran, serían tratados como si fueran parte integrante del mensaje y se produciría una proteína defectuosa. En vez de eso, son eliminados durante un proceso de empalme a nivel del ARN.

Hay otras pequeñas variantes bioquímicas en los distintos seres vivos, pero no en número suficiente para hacer peligrar la idea de una unidad bioquímica básica en la vida sobre la Tierra. Es sorprendente semejante unidad. Cabría haber esperado una competencia entre sistemas bioquímicos, como la hay entre especies. Si esta competencia existió en una fase temprana de la historia de la vida, quedó zanjada en favor del sistema que conocemos. Podemos inferir que, en cierto momento de la evolución, apareció un organis-

mo con todos los caracteres propios de la vida actual. Este organismo se impuso y heredó el planeta, y todos somos descendientes de él.

Ahora que nos hemos hecho una idea de la estructura de la vida, estamos en condiciones de explorar el registro histórico y de remontarnos en el tiempo en busca de sus orígenes.

III. EL TESTIMONIO DE LA TIERRA

Hemos contemplado la complejidad, lo intrincado de la organización que subyace incluso en la más sencilla de las bacterias actuales. Para saber cómo la vida llegó a ser de ese modo, hemos de recurrir al registro del pasado. Como veremos más adelante, los creacionistas arguyen que no podemos informarnos sobre el origen de la vida mediante la investigación científica, pues no hubo testigos presenciales, y por consiguiente no existe testimonio humano que nos guíe.

Con todo, sí se encuentra con nosotros un testigo de estos acontecimientos: la Tierra misma. Nuestro planeta guarda sus antecedentes en los sedimentos, las montañas y los valles, como lo hace nuestro cuerpo con las cicatrices y las arrugas. Conservados así mismo en el seno de la Tierra existen fósiles, es decir, impresiones y copias en piedra de las formas de vida que otrora la habitaron. Para elaborar una historia coherente de las mismas, tenemos que ordenar los fósiles, y lo ideal para ello sería que pudiéramos atribuirle a cada uno una fecha lo más concreta posible. A tal fin, los científicos han luchado durante siglos para determinar la edad de la Tierra, de las rocas y de los fósiles de su interior. Pasaremos revista a esta conquista histórica, pues ilustra a la perfección de qué manera la ciencia llega a una conclusión firme mediante una vacilante serie de aproximaciones que van cobrando una precisión creciente. El relato sirve también para comparar los enfoques científicos y mitológicos de esta cuestión. Para comenzar, cabría que nos preguntáramos cómo podemos conocer la edad de algo.

Podemos especificar la edad de un objeto estableciendo cuánto tiempo ha transcurrido desde el momento en que fue creado hasta el presente. Necesitamos, sin embargo, algún sistema de medición

con el que poder señalar el momento en que se produjo un acontecimiento pasado. El sistema ha de ser un proceso que podamos seguir, y que tenga lugar en el tiempo a una velocidad constante. Para los eventos de la historia escrita, el tránsito del día a la noche ha servido admirablemente. Las estaciones han brindado una medida complementaria, permitiendo agrupar por bloques los días del año. Cuando el ser humano desarrolló la capacidad de escribir y contar, se pudo llevar un calendario. Los acontecimientos quedaban identificados con una fecha y un año, y se puede calcular fácilmente cuánto tiempo ha transcurrido desde que se produjeron.

Los arqueólogos han descubierto en Irak archivos en escritura cuneiforme que datan del año -3000 aproximadamente y jeroglíficos egipcios que tienen casi la misma antigüedad. Sin embargo, hasta el siglo XIX el Antiguo Testamento era el registro continuo de acontecimientos más antiguo que conocía la civilización occidental. Según la Biblia, la creación de la Tierra, de la vida y del hombre aconteció en el curso de una misma semana. El objeto de la Tierra era proporcionar un hogar a la humanidad. No parecía existir razón alguna para que tuviera una dilatada historia previa al momento de la aparición del ser humano.

La Biblia no ofrecía una fecha exacta para el instante de la creación, pero recogía el paso de cada generación y la edad de las figuras más prominentes en el momento de su muerte. Se podía calcular la edad de la Tierra a partir de esta información, y parecía ser de unos pocos miles de años. Para situar las cosas sobre una base más firme, los teólogos de la Edad Media asumieron que los seis días empleados en la obra de la creación representaban un período de seis milenios, tantos como los asignados a la duración de toda la historia humana. Transcurrido este período, el segundo advenimiento de Cristo anunciaría el final de su reino en la Tierra. A menudo, su llegada parecía inminente, de modo que se impuso la idea de que la Tierra tenía unos seis mil años de antigüedad. En el *Como gustéis* de Shakespeare (acto IV, escena 1), Rosalind señala: «El pobre mundo tiene casi seis mil años...», recogiendo lo que era una creencia común.

Según se desarrollaba la sociedad moderna, aumentaba la exigencia de una mayor precisión, incluso en cuestiones religiosas. El arzobispo James Ussher, del Trinity College de Dublín, estudió los antiguos textos hebreos, el calendario hebreo y la Biblia, y en 1650 concluyó que Dios había creado los cielos y la Tierra la tarde del sábado 22 de octubre del año 4004 a. de J.C. A juzgar por los es-

tándares científicos modernos, diríase que utilizó demasiadas cifras significativas y que tendría que haber redondeado la estimación. John Lightfoot, de la Universidad de Cambridge, contemporáneo de Ussher, no fue tan preciso como éste, estableciendo que la creación había tenido lugar en el mes de septiembre del año 3928 a. de J.C. Con todo, prevalecieron los datos de Ussher. Como veremos, ciertos grupos religiosos sostienen todavía, invocando la autoridad bíblica, que la Tierra tiene sólo unos pocos miles de años de antigüedad. Para un punto de vista alternativo, hemos de recurrir a una disciplina muy diferente: la ciencia.

EL TURNO DE LA CIENCIA

Los científicos asumen que la Tierra es más vieja que la humanidad. La historia escrita sirve sólo para establecer una edad mínima para el planeta. Hay que efectuar otras mediciones para determinar cuánto tiempo puede haber estado la Tierra ahí, antes de que nuestra civilización le prestara atención. Los fenómenos periódicos son los de más fácil aplicación a este propósito. Se pueden contar los anillos de los árboles, por ejemplo. Sabemos, por experiencia, que en ocasiones un árbol puede pasar un año sin crecer, o formar dos anillos en una estación; pero, en la mayoría de los casos, los anillos reflejan adecuadamente la edad del árbol en años. Los árboles más viejos se encuentran en California, y su edad sobrepasa los 4.000 años. No se han descubierto seres vivos más viejos, de modo que hemos de recurrir a los acontecimientos geológicos para remontarnos más allá. Ciertos lagos glaciares depositan franjas de arcilla oscuras en invierno y claras en verano. A partir de estos sedimentos, conocidos con el nombre de varvas arcillosas, a algunos lagos del norte de Europa se les puede asignar una edad de 8.700 años. Por tanto, los lagos son anteriores a la cronología bíblica. Los fenómenos regulares anuales no nos llevan más allá; sin embargo, otros indicios geológicos señalan que la Tierra es mucho, muchísimo más vieja que todas esas cifras.

En los siglos XVIII y XIX, algunos geólogos, al estudiar la apariencia de la Tierra sin prejuicio alguno derivado de la mitología, coligieron que era muy vieja. El escocés James Hutton observó la lentitud de procesos tales como la meteorización y la sedimentación de las rocas. En su obra *Theory of the Earth* (1785), concluía que nuestro planeta no presentaba «vestigios de un inicio, ni perspectiva de

un final». En su empeño le sucedió sir Charles Lyell, geólogo que influyó profundamente en el pensamiento de Charles Darwin. De su trabajo, y del de otros muchos, emergió el punto de vista que situó el origen de la Tierra y de la vida en un pasado de muchos millones de años.

La acumulación de sedimentos sirvió de índice temporal en estas estimaciones. El movimiento del agua erosiona las rocas y el material resultante es arrastrado corriente abajo por los ríos. Cuando un río alcanza una zona amplia y llana, pierde velocidad y deposita el aluvión como sedimento. Estos procesos ya habían sido observados a lo largo de la historia escrita. El historiador griego Herodoto, reparando en el depósito anual dejado por el Nilo, estimó que el río había necesitado muchos miles de años para construir el delta. En 1854 se descubrió una estatua de Ramsés II, del año -1200, enterrada bajo casi tres metros de limo fluvial, con lo que se calculó que se habían depositado unos nueve centímetros de sedimento por siglo. En el Gran Cañón, el bloque de rocas sedimentarias que se levanta por encima del río tiene casi un kilómetro y medio de grosor. Con la tasa de sedimentación anterior, cabría cifrar en unos dos millones de años el tiempo necesario para acumular tanto sedimento. No obstante, tal estimación representa un mínimo, pues los sedimentos se compactan al quedar enterrados a gran profundidad.

En ningún lugar del planeta hay más de dos kilómetros y medio de rocas sedimentarias expuestas a la intemperie. Sin embargo, los geólogos han colegido la existencia de espesores mucho mayores. En un corte de sedimentos hecho por un río, éstos no son uniformes, sino que presentan estratos de grosor irregular cuando se observan en sección transversal. Estos estratos reflejan las fluctuantes condiciones geológicas que condujeron al depósito de distintas clases de limo en diferentes momentos. Cuando se compara la sucesión de estratos en diversas localidades, aparecen con frecuencia similitudes, lo cual indica que en ambos lugares acontecieron los mismos sucesos al mismo tiempo. En una localidad dada, sólo acostumbra aflorar un cierto número de estratos. Sin embargo, mediante correlación de las observaciones de muchos lugares los geólogos pueden reconstruir una secuencia de estratos mucho mayor que la existente en cualquier localidad concreta. Dicha secuencia se conoce con el nombre de «columna geológica».

Cabe ilustrar el razonamiento que subyace a este proceso con la analogía de las letras de una línea. Supóngase que se imprimie-

ran muchas copias de la frase que estamos leyendo, que las desmenuzáramos al azar y las esparciéramos por la habitación. Recogiendo y examinando los fragmentos, podríamos reconstruir la frase. En un fragmento se leería, por ejemplo, «muchas copias de la fr», mientras que en otro rezaría «pias de la fras». Combinándolas, montaríamos la secuencia «muchas copias de la fras». El examen de nuevos fragmentos nos proporcionaría el mensaje completo.

A partir de la superposición de las diferentes series incompletas de sedimentos expuestos, los geólogos han reconstruido una columna geológica sedimentaria de unos ciento veinte kilómetros. Para estimar la edad de la Tierra no sólo se atiende, claro está, a los períodos de sedimentación. Esos sedimentos pueden haber sido levantados de su lecho marino o fluvial por fuerzas geológicas, y haber quedado a merced de la erosión fluvial o de otros acontecimientos. Por estimación o conjetura de las velocidades de esos procesos, los geólogos del siglo XIX llegaron a cifras de varios centenares de millones de años para la edad de la Tierra.

Otros científicos abordaron la cuestión desde un ángulo muy distinto, uno que consideraba el calor del seno de la madre Tierra en vez de las arrugas de su faz. Hacía mucho tiempo que el hombre se había percatado de que el interior de la Tierra está caliente: la temperatura aumenta según bajamos por el pozo de una mina, y las fuentes termales y las erupciones de lava dan asimismo testimonio del gran calor existente en las profundidades del planeta. Los pensadores de los siglos XVIII y XIX supusieron que la Tierra se había formado en estado de fusión y se iba enfriando progresivamente. Atendiendo al estado actual de la Tierra y a la velocidad ponderada de enfriamiento de los cuerpos sólidos, se obtuvo una estimación de su edad.

Isaac Newton había realizado un cálculo de este tipo, juzgando que una esfera de hierro calentada al rojo, del tamaño de la Tierra, se enfriaría en 50.000 años. Rechazó esta respuesta a causa de sus convicciones religiosas, dando por sentado que había cometido algún error.

El naturalista francés del siglo XVIII Georges Louis Leclerc, conde de Buffon, no tenía esas limitaciones, pues creía que los «días» bíblicos de la creación representaban períodos muy largos. Buffon realizó experimentos y cálculos sobre la velocidad de enfriamiento de una esfera, y después de tomar en consideración todos los factores que creyó pertinentes, concluyó que la Tierra tenía 74.832 años de antigüedad, cifra no muy alejada de la estimación aproxi-

mada de Newton. Mediante extrapolación, Buffon determinó que transcurridos 93.291 años más la Tierra se habría vuelto excesivamente fría para sustentar vida. Al igual que el arzobispo Ussher, Buffon se creyó en demasía sus propios cálculos. Al hacer sus cálculos hasta la cifra de las unidades, apuntaba a una precisión mayor que la que le garantizaban sus métodos. Había subestimado, por ejemplo, la cantidad de calor proporcionada por el Sol a la Tierra.

En la centuria siguiente, el célebre físico e inventor británico William Thompson, que en 1892 se convirtió en Lord Kelvin, mejoró estos cálculos. Kelvin había contribuido de manera decisiva a la teoría matemática de la difusión del calor (una escala científica de temperaturas lleva su nombre), así como a otras áreas de la física. Tras la publicación de *El origen de las especies*, se sintió atraído por la controversia desatada por la teoría de Darwin acerca de la evolución.

Como ya hemos señalado, varios geólogos habían supuesto una historia de centenares de millones de años para la Tierra, lo cual concedía un amplio margen para los lentos procesos de la evolución. En una serie de artículos publicados entre 1862 y los últimos años del siglo, Kelvin, valiéndose de datos obtenidos a partir de las velocidades de enfriamiento, calculó que la Tierra tenía una edad mucho menor. En 1862, su estimación fue de cien a doscientos millones de años, pero en 1867 sus cálculos «irrefutables» habían reducido la edad del planeta a entre diez y veinte millones de años. Otros investigadores propusieron duraciones aún más cortas para la historia de la Tierra.

Darwin era consciente de las dificultades que estas limitaciones físicas planteaban a su teoría, pero se mantuvo cauto. Escribía en la revisión final de su libro: «Muchos filósofos no admiten que sepamos lo suficiente de la constitución del Universo y del interior de nuestro globo como para especular con ciertas garantías acerca de su duración pretérita.» Su cautela estaba justificada. Poco más de una década después de su muerte, el descubrimiento de la radiactividad por Henri Becquerel, en 1896, cambiaba radicalmente el escenario. A consecuencia del mismo se vio que el desprendimiento de calor por los minerales radiactivos del interior de la Tierra era más que suficiente para compensar la pérdida de calor hacia el espacio y mantener la temperatura del planeta. Los cálculos de Kelvin no eran, pues, pertinentes, y el punto de vista geológico se aproximaba más a la realidad. Un espectador de la polémica, T. C. Cham-

berlin, comentó en aquel entonces: «La fantástica contundencia de los rigurosos análisis matemáticos, con su aureola de precisión y elegancia, no debiera cegarnos a los defectos de las premisas que condicionan todo el proceso.»

El descubrimiento de la radiactividad no sólo demolió los cálculos de Kelvin acerca de la edad de la Tierra, sino que brindó un método mucho mejor para tal fin, un método capaz de registrar edades mucho mayores que las que se habían considerado antes. Los átomos de hidrógeno, de carbono y de otros elementos básicos del Universo pueden presentarse en estados alternativos conocidos como isótopos. Ciertos isótopos son inestables, y se descomponen radiactivamente originando toda una gama de elementos.

Así, un isótopo del potasio presente en los minerales se desintegra lentamente para producir calcio y el gas argón. Se precisan unos mil trescientos millones de años para que se desintegre la mitad de una cantidad cualquiera de esta inestable sustancia. Los productos resultantes permanecen en la roca junto con el potasio restante, y midiendo las cantidades de estos materiales en una roca los geólogos pueden calcular el tiempo transcurrido desde que se solidificó.

A menudo, una roca —o una serie de rocas emparentadas— contendrá más de un isótopo inestable. Se pueden comparar los resultados de un tipo de desintegración con los de los restantes, y con la posición de la roca en la columna geológica. Muchos científicos han aplicado estas técnicas en el transcurso de este siglo, y se han obtenido resultados coherentes. Finalmente se descubrió una manera de aplicar dichos métodos a la edad de la propia Tierra.

UNA PREGUNTA GROSERA

«Quizá sea un poco grosero preguntarle a la madre Tierra su edad, pero la ciencia no sabe de vergüenzas y de vez en cuando trata, con todo descaro, de arrebatarse su secreto proverbialmente bien guardado.» Así se expresaba Arthur Holmes (1890-1965) en *The age of the Earth* (1913).

La determinación de la edad de nuestro planeta mediante datación radiactiva no fue de fácil consecución; se necesitó un largo período de ensayos y errores. Según se desarrollaba el proceso, iban apareciendo continuamente estimaciones mejoradas de la edad de la Tierra, y ésta se fue volviendo más y más vieja a los ojos

de los geólogos. El párrafo reseñado más arriba lo escribió un destacado geólogo en una época en que ambos, él y los métodos de datación, eran jóvenes. El hombre y la técnica maduraron juntos.

Las primeras determinaciones daban edades para las rocas que variaban entre 400 y 2.000 millones de años. Las edades relativas estimadas en el siglo XIX eran correctas, pero no así las magnitudes absolutas, que pecaban de cortas en un factor de 10. Las primeras dataciones radiactivas también adolecieron de errores matemáticos, y resultaron dar antigüedades excesivas en un factor de 0,2. En 1941, la muestra de roca más antigua conocida tenía asignada una edad de 2.600 millones de años. Subsistían, sin embargo, ciertas dudas, y en un artículo publicado en aquella época se afirmaba que la Tierra parecía tener una edad próxima a los dos mil millones de años.

Las rocas más viejas conocidas han de ser, claro está, más jóvenes que el propio planeta. En 1946, Arthur Holmes y F. G. Houtermans presentaban un método indirecto mediante el cual se podía estimar la edad de la Tierra a partir de datos de radiactividad obtenidos en muestras geológicas más jóvenes. Su estimación de tres mil millones de años fue aceptada hasta 1953, cuando se descubrieron errores y se propuso una nueva edad de 4.500 millones de años. Ésta es la cifra admitida en la actualidad. La formación de rocas más antigua que se conoce en la Tierra, en Isua, al sudoeste de Groenlandia, es más joven: tiene «sólo» 3.800 millones de años.

La edad indirecta deducida para la Tierra se ha visto corroborada por el análisis de cuerpos extraterrestres. Las edades de los meteoritos se extienden hasta los 4.500 millones de años. Las rocas más viejas de la Luna se han datado en 4.600 millones de años. Como la mayoría de las teorías sobre la formación de nuestro Sistema Solar suponen que los diversos cuerpos que lo integran se formaron más o menos al mismo tiempo, estos hallazgos reafirman nuestra confianza en que la grosera pregunta acerca de la madre Tierra se ha respondido correctamente.

Tal confianza es importante, ya que la respuesta obtenida es bastante extraordinaria. Es muchísimo más fácil aprehender una historia bíblica de 6.000 años, que equivale a unas ochenta veces la duración de una vida humana. La edad geológica, sin embargo, comporta más de sesenta millones de vidas humanas. Si la edad de la Tierra equivaliera a un año, una vida humana sería el tiempo necesario para parpadear dos veces con toda la rapidez posible.

LA SELECCIÓN NATURAL

Con las técnicas de datación modernas, los geólogos pueden asignar edades a los fósiles. Cabe entonces identificar las especies predominantes en cada momento de la historia. Los resultados son verdaderamente sorprendentes. Si bien ha existido vida en la Tierra durante la mayor parte de su historia, las criaturas que contienen más de una célula están representadas únicamente por fósiles formados en el transcurso de los últimos ochocientos millones de años. Llegaron primero los gusanos, las medusas y otros organismos compuestos sólo de partes blandas. Les siguieron los peces, las plantas terrestres, los anfibios, los árboles, los reptiles, los insectos, las aves y los mamíferos, más o menos en ese orden. Algunas criaturas, como los dinosaurios, aparecieron sólo para desvanecerse de nuevo. La historia de la evolución de las formas de vida superiores ha sido contada y requetecontada, y no es preciso repetirla aquí. Más importante para nuestra narración es el mecanismo responsable de esta aparición de sucesivas formas de vida: la selección natural.

Casi todos los científicos sostienen hoy día que las formas de vida más complejas se originaron a partir de otras más simples, como prevé la teoría de la evolución. La mejor interpretación de los mecanismos rectores de este proceso se realiza mediante la llamada selección natural.

Los detalles concretos de los cambios siguen siendo objeto de controversia. Las transformaciones pueden haberse producido de manera gradual, o con cierta rapidez, como defiende la teoría de los «equilibrios puntuados». Pueden darse mecanismos complementarios, distintos de la selección natural —una posibilidad no descartada por Darwin—. A buen seguro en un futuro próximo sabremos mucho más de este tema, en virtud del progreso acelerado de nuestro conocimiento acerca de las funciones celulares del ADN.

Esta sustancia, como sabemos, es el material hereditario de los organismos vivos. Durante la replicación se fabrica una copia del ADN para su transmisión a la progenie. En el transcurso de este proceso pueden originarse errores de reproducción y dar así lugar a mutaciones, es decir, cambios en el mensaje génico. Los genetistas han aprendido mucho sobre los procesos de mutación que dan lugar a cambios equivalentes a la alteración de una simple palabra en una frase. Recientes descubrimientos indican que existen también bloques de información mucho mayores, con capacidad para

desplazarse dentro de nuestro material genético por acción de mecanismos naturales. Tales segmentos móviles de ADN han recibido el nombre de «genes saltadores». Mucho más familiares nos resultan, claro está, las variaciones de las criaturas vivas debidas a la reproducción sexual.

Todos estos mecanismos introducen variabilidad en las poblaciones de organismos vivos. Muchas de las variantes producidas, en particular las creadas por mutaciones al azar, no son necesariamente mejores que sus predecesoras (si tiene usted dudas al respecto, intente reemplazar una palabra de esta misma frase por otra cualquiera elegida al azar en el diccionario). En la mayoría de los casos, el sino de los infortunados productos de este proceso es la extinción. De vez en cuando, sin embargo, ocurre que un mutante puede sobrevivir y hereda el futuro. Podemos ilustrar esto con un ejemplo. Supóngase que una cepa de bacterias determinada ha quedado destruida por un antibiótico nuevo, a excepción de un solo individuo que ha sobrevivido entre los miles de millones originalmente presentes. Dicha bacteria había adquirido un cambio genético que le ha permitido resistir el fármaco mientras las demás perecían. Si las otras condiciones restantes resultan favorables, este único organismo podrá reproducirse y repoblar todo el medio en pocos días, de modo que el gen propicio se difundirá y se convertirá en parte integrante de las instrucciones genéticas de la cepa.

Estos sucesos ilustran el proceso de la selección natural, la fuerza que la mayoría de los científicos creen responsable de la evolución. Más adelante veremos si la selección podría haber servido también para crear la primera criatura viva.

LA ERA DE LOS MICROORGANISMOS

Una abundante cosecha de fósiles caracteriza el período en que las criaturas multicelulares han reinado sobre la Tierra. Los últimos seiscientos millones de años, cuando cabía disponer de elementos duros, como conchas y huesos, para fabricar fósiles, están especialmente bien documentados. Mucho más escaso es el registro que subsiste de una era larguísima, que duró 2.500 millones de años como mínimo, cuando la vida sólo estaba representada por organismos unicelulares. En realidad, hasta hace unas decenas de años hubo dudas en cuanto a si existió vida alguna sobre la Tierra durante ese período.

Se entiende fácilmente que exista semejante escasez de datos. Las rocas pueden deteriorarse por meteorización o refusión. Las recientes abundan, pero las antiguas escasean más y más a medida que aumenta su edad. Por último, con las rocas de Isua —en el suroeste de Groenlandia— de 3.800 millones de años de antigüedad, el registro se desvanece por completo. No queda nada que nos informe directamente de los primeros tiempos de este planeta.

Otro problema es la localización e identificación de fósiles de microorganismos. Una vez descubiertos, los huesos de dinosaurio dejan poco margen de duda acerca de su identidad. Los microfósiles, en cambio, son más difíciles de identificar. Su naturaleza fósil es a menudo ambigua y, aparte del tamaño y la forma de la célula, de bien poco más nos informa. A pesar de estas dificultades, los geólogos han trabajado pacientemente en unas cuarenta localidades para elaborar un cuadro de la larga era de los microorganismos, cuya duración abarca desde los 3.500 hasta los 900 millones de años de antigüedad.

Según este registro, las primeras células eucariotas aparecieron hace 1.200-1.400 millones de años. Esta fecha podría ser revisada en cualquier momento, por supuesto, si aparecieran fósiles eucariotas más antiguos. Se han hecho afirmaciones y contraafirmaciones, pero la mayoría de los investigadores en este campo parecen satisfechos con el margen anterior.

Los restos de formas procariotas parecidas a las bacterias se remontan a tiempos muy antiguos, a más de 3.500 millones de años. Este registro es continuado y está bien documentado hasta unos 2.200 millones de años atrás, para luego prolongarse intermitentemente hasta los fósiles más antiguos que se conocen, localizados en Australia occidental y Sudáfrica. Durante un largo período de más de 2.000 millones de años, casi la mitad de la edad de la Tierra, los procariotas fueron los únicos representantes de la vida en este planeta. Si bien las impresiones fósiles directas dejadas por estas remotas criaturas son microscópicas, otros vestigios de su existencia son de tamaño visible. En el enclave australiano conocido con el nombre de North Pole por su aislamiento (pero no por el clima), se pueden observar unas estructuras cupuliformes, de unos treinta centímetros de alto, incrustadas en un afloramiento de roca desgastada. De estos objetos, compuestos por centenares de láminas de roca del grosor de un barquillo, se ha dicho que parecen coles o pasteles de hojaldre. Podemos identificarlos como productos de la actividad de seres vivos porque hoy existen estructuras equivalentes. Estas

estructuras, llamadas estromatolitos, aparecen en las aguas someras de lugares muy particulares, como la costa de Australia a unos kilómetros de North Pole. Se originan cuando ciertas colonias de microorganismos, por lo común bacterias azules, crecen en láminas que acumulan sedimentos. Una nueva lámina de bacterias azules se forma encima de los sedimentos, y el ciclo se repite.

Las bacterias azules modernas preparan su propio alimento por fotosíntesis, empleando dióxido de carbono del aire y energía solar. No hacen uso de los compuestos orgánicos de su medio ambiente, al contrario que las bacterias que estudiábamos en el último capítulo. Si las criaturas que construyeron los viejos estromatolitos se parecían a las bacterias azules modernas, entonces el proceso de la fotosíntesis es antiquísimo. Esta conclusión viene refrendada por otro testimonio, el de las proporciones de los isótopos de carbono en sedimentos muy antiguos.

Aparte de los estromatolitos fósiles, encontrados en diversos lugares del planeta, se han hallado vestigios directos de células que podrían haber vivido hace 3.500 millones de años. La impresión fósil de una hilera de células agrupadas para formar un filamento curvado, descubierta en una localidad australiana, guarda un asombro parecido con los filamentos bacterianos que podemos ver hoy día. Un fósil sudafricano presenta una serie de esferas unidas, al parecer en diferentes estadios de división celular. Las investigaciones en uno y otro yacimiento, que han sido exhaustivas y están bien documentadas, han llevado al consenso en cuanto a que la vida estaba bien desarrollada en más de una localidad unos 1.000 millones de años después de la formación del planeta.

La cautela mostrada y la cantidad de documentación aducida han sido imprescindibles a este respecto. Los minerales también contienen elementos organizados, de carácter inorgánico, que a primera vista pueden parecer fósiles biológicos, y por tanto se pueden cometer errores. Citemos al respecto al famoso biólogo G. C. Simpson: «Del *Eozoon*, bautizado pomposamente en su día como “el animal de la aurora”, se sabe hoy que no es en absoluto un animal, ni siquiera una planta ni forma alguna de vida, sino un mero precipitado inorgánico.»

El *Eozoon* fue un fenómeno del siglo XIX, aunque en la actualidad sobreviven sus descendientes espirituales. Se produjo un rebrote en 1979, en relación precisamente con las rocas de Isua. El descubrimiento de vestigios de vida en rocas muy antiguas despertó por lo visto en algunos investigadores el deseo de llevar este pro-

ceso al límite lógico: encontrar fósiles en las rocas más antiguas conocidas hoy día en la Tierra. Por desgracia, las rocas de Isua no se prestan a tal fin, pues se han calentado considerablemente varias veces a lo largo de su historia. Parejo tratamiento destruye por lo general los fósiles. A pesar de ello, dos informes independientes se arrogaron el descubrimiento de testimonios fehacientes de vida en Isua.

La American Chemical Society se reunió en Washington durante el verano de 1979, y en la publicación periódica de dicha sociedad se recogieron las excitantes nuevas. En el titular del artículo se proclamaba: «Se descubren indicios de vida en las rocas más antiguas que se conocen.» El artículo estaba firmado por un grupo de científicos de diversas universidades, cuyo portavoz ante la prensa fue Cyril Ponnampersuma, de la Universidad de Maryland. El informe de la revista hablaba del descubrimiento de hidrocarburos en las rocas de Isua, y de que la proporción de isótopos de carbono hacía pensar que los compuestos habían sido formados por fotosíntesis, y, por tanto, por organismos. El informe señalaba que aún no se habían descubierto verdaderos fósiles, los cuales brindarían pruebas más convincentes de vida.

Esta carencia fue paliada por otros. Casi al mismo tiempo aparecía un artículo en la prestigiosa revista británica *Nature*, firmado por un geólogo alemán, H. D. Pflug, y un colega francés, H. Jaeschke-Boyer. Habían descubierto «inclusiones parecidas a células» en las rocas de Isua, inclusiones que identificaban como fósiles de antiguos microorganismos. En el artículo hablaban de la observación de células aisladas, filamentos y colonias. Acuñaron el término *Isuasphaera* para su hallazgo y comentaron: «Pocas dudas caben de que *Isuasphaera* es un organismo.» Se sentían especialmente impresionados por la envoltura que rodeaba su criatura: «La envoltura exterior multilaminar que desarrolla *Isuasphaera* sólo puede ser entendida como producto de la actividad biológica.» Vieron vacuolas—regiones huecas que aparecen en ciertas células—, así como yemas similares a las producidas por las células de las levaduras. Los autores creían que su organismo se asemejaba a una levadura, si bien moderaban su entusiasmo con la observación de que las levaduras son eucariotas. No se atrevieron a afirmar que los eucariotas hubieran surgido en época tan temprana de la evolución, y proponían para la *Isuasphaera* una posición intermedia.

Una cierta ausencia de dudas, de escepticismo, en todos estos informes debería habernos servido de advertencia. Cuando los

científicos no quieren desempeñar el papel de abogados del diablo de sí mismos, otros lo harán por ellos de buena gana. En este caso, el duro despertar llegó dieciocho meses después, en la forma de varios artículos publicados también por *Nature*. Se confirmó la presencia de hidrocarburos en las rocas de Isua, pero, al analizarlas detenidamente, no sólo se detectaron hidrocarburos sino también aminoácidos, entre ellos algunos bastante perecederos. En realidad, la edad de la mezcla química no podía ir más allá de unos miles de años, y no cabía hablar, pues, de miles de millones. La composición en aminoácidos se parecía a la de los líquenes que crecen en la superficie de las rocas en el presente. Y la conclusión fue que ciertos compuestos químicos de las plantas de superficie habían penetrado en el interior de la roca en un pasado relativamente reciente.

Isuasphaera tampoco tuvo un destino muy feliz, y fue despachada por la misma vía que *Eozoon*. Un equipo internacional que incluía científicos de renombre en el estudio de fósiles australianos y sudafricanos examinó los hipotéticos fósiles. Concluyeron que las estructuras de Isua eran artefactos manifiestamente inorgánicos y que no constituían evidencia alguna de vida.

Con la destrucción de estas pretensiones acerca de Isua, nos hemos quedado en un estado de conocimiento incompleto. Sabemos que existían formas de vida de tipo procariota hace 3.500 millones de años, pero desconocemos el momento o las circunstancias de su origen, pues llegados a este punto la pista fósil se pierde.

LA APARICIÓN DEL OXÍGENO

Pocos indicios de progreso evolutivo revelan la forma y el tamaño de los microfósiles procedentes de la era de los microorganismos, a pesar de que ésta se prolongó a lo largo de casi la mitad de la historia del planeta. Pero pueden haberse producido cambios importantes en el interior de estos antiguos microorganismos durante este período, incluso aunque su apariencia externa variara poco. Una vez más, el propio planeta es la fuente principal de testimonios en este sentido.

De todos los mundos conocidos del Sistema Solar, sólo la Tierra tiene una atmósfera con una fracción significativa de oxígeno (20 %). Como hemos visto, el oxígeno es vital para los procesos de todas las células de los organismos superiores. Se emplea, combinado con los alimentos, para liberar energía y producir dióxido de

carbono y agua. Sólo algunas especies de bacterias están exentas de tal requisito, pues pueden obtener la energía que necesitan mediante reacciones que no precisan oxígeno.

El registro petrográfico indica que nuestra atmósfera no siempre fue tan rica en oxígeno como lo es hoy día. Hace unos 2.000 millones de años se produjeron cambios espectaculares en la naturaleza de los minerales depositados como rocas. En particular, en esa época —pero no después— se formaron gran cantidad de estructuras férricas con un característico laminado. Se depositó por entonces quizás un 90 % de los minerales ricos en hierro conocidos que constituyen nuestro principal recurso de ese metal. Se cree que estos cambios son el resultado de la aparición por vez primera de grandes cantidades de oxígeno en la atmósfera.

El origen de este oxígeno ya es un problema diferente. La mayoría de los científicos coinciden en la causa de esta transformación: el desprendimiento de oxígeno en la fotosíntesis de organismos como las bacterias azules.

Hemos considerado ya los indicios de que la fotosíntesis pueda haber existido hace 3.500 millones de años, y queda abierta la cuestión de si los primeros organismos preparaban su alimento de esta forma o utilizaban los compuestos orgánicos existentes en el medio ambiente. Pero, cualquiera que sea la respuesta, la fotosíntesis con desprendimiento de oxígeno se puso en marcha en algún momento de la historia de la Tierra.

Durante un tiempo, el oxígeno desprendido quizá fuera consumido por sustancias del medio ambiente con las que se combina fácilmente. Cuando estas sustancias se agotaron, el oxígeno se acumuló en el aire. Este cambio pudo haber envenenado muchos microorganismos, lo que conllevó su extinción o los empujó a refugiarse en nichos desprovistos de oxígeno. Algunas de estas especies sobreviven en el presente. Un importante grupo de ellas, las llamadas bacterias metanógenas, son aniquiladas por el oxígeno y habitan en lugares como el cieno del fondo del mar Negro y de la bahía de San Francisco. Las metanógenas obtienen energía no por oxidación, sino mediante otras reacciones químicas. Tanto su modo de vida como ciertas características químicas que las distinguen de la mayoría de las otras bacterias han animado la hipótesis de que son supervivientes de los primeros tiempos de la Tierra. En aquel entonces, la atmósfera era más benévola con ellas y les brindaba los gases que emplean para obtener energía.

La atmósfera rica en oxígeno, aunque tóxica para muchas espe-

cies, fue un regalo para los organismos que se adaptaron a él. Podían obtener mucha más energía mediante combinación de compuestos orgánicos con oxígeno que la que los métodos anteriormente usados ponían a su disposición. Esta ventaja pudo haber estimulado el desarrollo de las células eucariotas. La nueva atmósfera brindó también un efecto benéfico complementario. Una serie de complejas reacciones en el aire llevó a la formación de gas ozono, un estado molecular particular del oxígeno. El ozono absorbe una clase especial de radiación solar llamada luz ultravioleta. Esta radiación es dañina para muchos de los compuestos químicos pesantes en los seres vivos. Antes del desarrollo de la pantalla de ozono, puede que las tierras emergidas y las aguas superficiales del mar fueran inhabitables. Así pues, la colonización de las tierras emergidas por criaturas vivas quizá sólo fue posible tras la introducción de oxígeno en la atmósfera.

LAS ROCAS MÁS ANTIGUAS

Subsisten muchos problemas en lo relativo a los detalles y el ritmo de la conversión de la atmósfera terrestre a su forma actual. Estas cuestiones, aunque importantes, no son tan cruciales para el origen de la vida como la siguiente: ¿Cuál era la naturaleza de la atmósfera de la Tierra con anterioridad al desprendimiento de oxígeno, cuando aparecieron las primeras células vivas? En busca del testimonio más antiguo, hemos de volver a las rocas de Isua.

El proceso de calentamiento que experimentaron puede haber destruido cuantos fósiles albergaran, pero no oscureció los mensajes geológicos básicos presentes en ellas. Esas rocas son sedimentos depositados en el fondo del mar y compuestos de partículas formadas por erosión de otras rocas. Estas últimas, más antiguas, eran rocas volcánicas, no materiales continentales. Por diversas razones, los geólogos creen que los continentes se formaron en una fecha posterior. Cuando se formaron las rocas de Isua, la Tierra estaba seguramente cubierta por un mar somero, con la mayor parte de las regiones emergidas —menos extensas que ahora— constituidas por material volcánico. Las rocas de Isua, y otros sedimentos antiguos, no tienen, por lo demás, nada de extraordinario en su composición, pues contienen sustancias minerales que hoy día siguen siendo familiares.

Aunque este testimonio es muy sucinto, si intentamos investigar

más allá en la historia de la Tierra no tenemos nada concreto que examinar. En circunstancias así, los científicos recurren a otras técnicas, utilizando las leyes de la física y la química para construir modelos. Se juzga que un modelo es satisfactorio si parte de un conjunto de condiciones iniciales plausibles y, mediante leyes conocidas, deduce que la situación presente resultaría de la inicial. Por supuesto, no podemos estar seguros de que un determinado modelo sea el óptimo, pues un conjunto de condiciones muy diferente del imaginado podría realizar este cometido mucho mejor. Sin embargo, cualquier modelo, por más vulnerable que sea al cambio, es mejor que la nada más absoluta, de modo que examinaremos las ideas científicas actuales acerca de la formación de la Tierra y del Sistema Solar.

EL NACIMIENTO DEL PLANETA TIERRA

Cuando yo era joven leí que el Sistema Solar se había formado al aproximarse dos estrellas entre sí, lo cual les había arrancado materia suficiente para formar los planetas. Esta teoría ha perdido toda aceptación. La probabilidad de una cuasicolisión es insignificante y, lo que es más importante, los modelos matemáticos de tal evento no proporcionan un sistema planetario de las características del nuestro. El paradigma actual, el aceptado en su forma general aunque no en todos sus detalles, es la teoría nebular. Según esta idea, el Sol y los planetas se formaron simultáneamente por condensación de una nebulosa de polvo y gas interestelar.

Podemos observar hoy día nebulosas de este estilo en diversos lugares de nuestra galaxia, algunas de las cuales se encuentran al parecer en proceso de formación de nuevas estrellas. Su composición refleja la del conjunto del Universo: fundamentalmente hidrógeno y helio (un gas ligero, inerte, que se emplea para llenar los globos), junto con pequeñas cantidades de otros elementos. El proceso de formación de una estrella comienza cuando una nebulosa de polvo interestelar se empieza a contraer por atracción gravitatoria. La nube en contracción adopta un movimiento de rotación sobre sí misma y se aplana como un disco. La mayor parte del material que contiene se acumula en el centro y se calienta por efecto de las fuerzas de gravitación. Una vez que se ha alcanzado cierta densidad y cierta temperatura, comienza una reacción nuclear que transforma los átomos de hidrógeno en helio. Cuando esta fuente

de energía complementaria y duradera se activa, empieza la vida de una estrella.

Según la teoría nebular, estos procesos llevaron al nacimiento de nuestro propio Sol, hace más de 4.500 millones de años. Sin embargo, no toda la materia de la nebulosa fue a parar al Sol. Parte de ella permaneció en órbita a diversas distancias y se concentró para formar planetas, satélites, meteoritos y cometas. La composición química de cada cuerpo estaba parcialmente controlada por su distancia al Sol, que determinaba la temperatura de la nebulosa en ese punto. A la distancia de la Tierra, los minerales de hierro, muy densos, y los silicatos, más livianos, podían existir en forma sólida y se agruparon para crear nuestro planeta.

Se han adelantado diferentes teorías para describir el proceso de acumulación. Todas tienen un elemento en común: terminan con el planeta en su estado actual. Tenemos conocimientos de su interior por el estudio del campo magnético terrestre, las ondas de choque producidas por los terremotos y otros datos. Gracias a ellos sabemos que se compone de varias zonas distintas. En el centro hay un núcleo constituido básicamente por hierro sólido y líquido. Lo rodea una zona intermedia llamada manto, compuesta de roca parcialmente fundida. En la parte externa hay una delgada corteza, de unos pocos kilómetros de espesor, y encima de esta familiar lámina de roca, los océanos y la atmósfera.

La teoría más inmediata sobre la formación de la Tierra señala que ésta existió desde los comienzos del Sistema Solar. Las partículas de hierro se agregaron primero para formar el núcleo. Cuando éste hubo alcanzado cierto tamaño, la atracción gravitatoria hizo que los materiales silicatados, menos «pegajosos», formaran una lámina alrededor de aquél. Otro modelo propone que rocas de diversa composición se agregaron para formar cuerpos mayores: los planetesimales. A medida que avanzaba el proceso de acumulación, la Tierra aumentó de tamaño; quizá le llevó cien millones de años alcanzar las dimensiones marcianas. En algún momento, el calor desprendido por las fuerzas gravitatorias, sumado al de la radiactividad, provocó la fusión del interior de la Tierra. Esto permitió que el hierro, muy denso, se hundiera en el centro, al tiempo que los componentes silicatados, más ligeros, flotaban encima.

Cualquiera que haya sido el mecanismo de su creación, lo más probable es que la superficie de la Tierra se hallara en un estado turbulento después de formada. La faz punteada de cráteres de la Luna y otros cuerpos celestes de nuestro Sistema Solar desprovis-

tos de atmósfera, da testimonio de un período de intenso bombardeo meteorítico que culminó hace quizás unos 4.000 millones de años. Se cree que, en cierto momento del desarrollo del Sol, éste emitió una gran cantidad de materia y radiación que barrió el Sistema Solar y lo dejó limpio de escombros, y que dismanteló también cualquier atmósfera que la Tierra pudiera haber heredado de la nebulosa solar. Por un tiempo, nuestro planeta pasó posiblemente por un estado similar al de la Luna hoy día: salpicada de cráteres y sin atmósfera.

Esta situación no podía durar. Los cambios que acontecían en el interior de nuestro planeta se expresaban en la superficie en forma de actividad volcánica. A partir de los gases desprendidos por los volcanes, se formó una atmósfera nueva, predecesora de la actual. La escasez de ciertos elementos —como el gas neón— en nuestra atmósfera, en comparación con su mayor abundancia en el Sol, atestigua este origen interno del aire circundante de la Tierra primitiva.

Una cuestión clave para el origen de la vida es la que se refiere a la naturaleza de esta atmósfera primitiva. Existe una diferencia radical entre los ambientes ricos en oxígeno (llamados oxidantes u oxidados) y los ricos en hidrógeno (llamados reductores o reducidos). El oxígeno y el hidrógeno no están hechos para permanecer juntos sin combinarse durante mucho tiempo, al menos a las temperaturas terrestres. Cualquier chispa, sacudida o catalizador les hará reaccionar entre sí, a menudo con violencia, para producir agua. Hoy día, la atmósfera de la Tierra tiene un carácter fuertemente oxidante, mientras que en el Universo, en general, con su abrumador contenido de hidrógeno, la reducción es dueña y señora. La nebulosa a partir de la cual se formó el Sistema Solar también era probablemente rica en hidrógeno, lo mismo que la atmósfera inicial de la Tierra. Los grandes planetas exteriores —como Júpiter o Saturno—, fundamentalmente gaseosos, siguen permaneciendo actualmente en esa condición.

Si aceptamos la teoría del origen volcánico para nuestra atmósfera actual, entonces el destino de la atmósfera reductora inicial queda perfectamente definido con la frase «lo que el viento (solar) se llevó». La vida comenzó cuando la segunda atmósfera ocupó su lugar. Cabe obtener ciertas pistas acerca de la composición inicial de esta última mediante el muestreo de los gases emitidos hoy día por los volcanes. Partiendo de esta base, la mayoría de los geólogos creen que la variante primitiva de nuestra atmósfera actual con-

tenía nitrógeno, dióxido de carbono y agua, con pequeñas cantidades de otras sustancias. El hidrógeno aparecería en cantidades inferiores al 1 %, al estar su acumulación limitada por su fuga hacia el espacio. Una vez se hubo liberado suficiente cantidad de vapor de agua, éste se condensó para formar los ríos y los mares. Llegamos entonces al mundo supuesto para la formación de las rocas de lsua, con una atmósfera encima que no era ni oxidante ni reductora, sino más bien neutra, quizá con un ligero carácter reductor.

Desde luego, la certidumbre no arroja esta respuesta. Un planetólogo subrayaba, en una conferencia reciente, que «la historia de la Tierra primitiva figura entre los problemas más oscuros y espinosos que hemos de afrontar». Sin embargo, esta misma ambigüedad, tan típica de los dominios preparadigmáticos de la ciencia, es el telón de fondo que hay que emplear para las teorías relativas al origen de la vida. Algunas teorías al uso, entre ellas la más conocida, requieren un medio ambiente distinto, y esta discrepancia contribuye a la confusión que rodea el problema. Exploraremos esta situación en el próximo capítulo, en el que vamos a ocuparnos del paradigma dominante en este campo.

IV. LA CHISPA Y LA SOPA

En 1952, Stanley Miller, joven graduado de la Universidad de Chicago, realizó un experimento que tuvo una profunda repercusión en las ideas científicas sobre el origen de la vida. Expuso una mezcla de gases reductores a una fuente de energía, una chispa eléctrica, en un aparato que había diseñado con el asesoramiento de su director de investigación, el profesor Harold Urey. Entre los productos de la reacción había cantidades significativas de dos aminoácidos que figuran entre la veintena de los usados por las células vivas para construir proteínas. Tras su publicación en 1953, los medios de comunicación se hicieron eco de los resultados. *Time* informaba que Miller y Urey «habían simulado las condiciones de una Tierra primitiva y habían producido, a partir de sus gases atmosféricos, varios compuestos orgánicos próximos a las proteínas. Lo que han hecho es demostrar que los compuestos orgánicos complejos existentes en la materia viva se pueden formar [...]». Si su aparato hubiera sido tan grande como el océano y hubiera funcionado durante un millón de años en vez de hacerlo una semana, podría haber producido algo parecido a la primera célula viva.»

Las propias circunstancias de la reacción pueden haber reforzado su efecto en el público. Durante las dos décadas anteriores, Hollywood había producido una serie de películas en las que la materia inerte era traída a la vida por acción de la electricidad. Tras el estreno de una de ellas, en 1931, escribía un crítico: «La secuencia de la creación es visualmente emocionante, con toda una pirotecnia eléctrica que marca un ejemplo a imitar en futuras versiones cinematográficas.» El producto de esta transformación, sin embargo, no era un aminoácido sino el monstruo Frankenstein, interpretado por Boris Karloff.

En el caso del experimento de Miller y Urey, la comunidad científica se quedó tan impresionada como el público. El trabajo fue citado en repetidas ocasiones durante los años siguientes, se incluyó en los textos de geología y biología de las universidades y escuelas superiores, y figuró en las más diversas exposiciones museológicas. Ha venido a ser el experimento clásico, mejor conocido, sobre el origen de la vida. Se han llevado a la práctica innumerables variaciones del mismo, empleando toda una gama de fuentes de energía, produciéndose así una cantidad exorbitante de bibliografía sobre el tema. Como resumen de semejante impacto, he aquí el relato del químico William Day:

Fue un experimento contundente. Su sencillez, la elevada concentración de los productos y los compuestos biológicos específicos, producidos en número limitado por la reacción, todo ello fue suficiente para demostrar que el primer paso en el origen de la vida no fue un suceso fortuito, sino ineluctable [...]. Con la mezcla apropiada de gases, cualquier fuente de energía que pueda abrir los enlaces químicos desencadenará una reacción que se traducirá en la formación de elementos para construir la vida.

Las consecuencias del experimento se hicieron sentir en un ámbito mucho más amplio que el del origen de la vida. Citemos al famoso astrónomo Carl Sagan: «El experimento de Miller y Urey es tenido hoy día por el paso más importante para persuadir a un buen número de científicos sobre el hecho de que, probablemente, la vida abunda en el cosmos.» Cualquier resultado que produzca un impacto de tamaño magnitud merece una atención detenida, de modo que examinaremos con cierto detalle los datos actuales, y las interpretaciones fundamentadas sobre ellos.

LA CHISPA DE LA VIDA

El equipo empleado por Miller tenía tres elementos esenciales. El primero era simplemente un matraz de agua hirviendo. El vapor de agua que ascendía y abandonaba dicho matraz entraba en un compartimiento con dos electrodos. Se mantenía entre ambos el voltaje suficiente para que saltara una chispa en el espacio que los separaba. Una vez los vapores habían atravesado la descarga, penetraban en una zona más fría, donde se condensaban y formaban gotitas de agua. Estas gotitas refluían al matraz. El sistema estaba

aislado de la atmósfera y lleno de una mezcla de metano, amoníaco e hidrógeno. La concepción general del experimento era sencilla, y prueba de ello es que la revista *Scientific American* publicó un artículo en el que describía cómo un científico aficionado puede construir su propio aparato Miller-Urey.

El experimento original duró una semana. Según progresaba, el agua del matraz tomó primero un color rojo y luego pardoamarillento. Transcurrida la semana, se interrumpió el paso de la corriente eléctrica y el contenido del matraz fue analizado mediante diversos métodos químicos. En el transcurso del experimento, el metano se había consumido y los átomos de carbono, presentes originariamente en él, aparecían ahora en diferentes sustancias orgánicas. El producto dominante era un material insoluble, constituido por una red de átomos de carbono y otros elementos conectados de manera laxa irregular. Esta sustancia cubría las paredes del aparato. Sustancias de este tipo, conocidas como alquitranes, resinas o polímeros (término que significa «muchas piezas»), aparecen con frecuencia en las reacciones orgánicas. Son un verdadero fastidio, sobre todo a la hora de limpiar el equipo.

Un 15 % del material no se había convertido en alquitrán y pudo ser identificado por medios químicos. Se elaboró una lista de los compuestos presentes y de su concentración. En cualquier reacción de esta índole, el número de productos identificados depende esencialmente de la paciencia, y la maestría del investigador. Hoy día hay instrumentos que permiten identificar componentes a concentraciones de unas pocas partes por millón, o incluso por millar de millón. A semejantes concentraciones puede haber miles y miles de sustancias en la mezcla de la reacción. Antes de que Miller realizara el experimento se le preguntó a Urey qué esperaba que se produjera, y su respuesta fue: «el Beilstein» (el nombre hace referencia a un manual en varios volúmenes que describe millones de compuestos orgánicos). Según Miller, «la respuesta de Urey significaba que era de esperar que la descarga eléctrica produjera un poco de todo».

Si todos los productos se hubieran presentado sólo en cantidades ínfimas, poca importancia habría que conceder al experimento. Pero unas pocas sustancias de la mezcla aparecían en cantidades considerables: cinco de ellas se formaban en porcentajes que oscilaban entre el 4 y el 1,6 %, mientras que otras ocho se encontraban entre el 0,75 y el 0,25 %. He elegido arbitrariamente el 0,25 % como límite de significación, porque la importancia del experimen-

to se ha cifrado en la naturaleza de los productos principales y en lo limitado de su número. Si se bajara el límite de significación y se incluyeran algunos productos más, las conclusiones que siguen no se verían muy afectadas. Así pues, ¿qué podemos concluir de esta lista de trece compuestos?

Un químico señalaría de inmediato que todas las sustancias anteriores pertenecen a una misma clase de compuestos: los ácidos carboxílicos. Los aminoácidos son una subdivisión de esta clase. El resultado no es del todo sorprendente, pues está favorecido por el diseño del aparato. En la cámara de descarga, la energía de la chispa abre enlaces químicos y permite que se formen productos nuevos. Sin embargo, ninguno de ellos está a salvo de cambios ulteriores, a menos que pueda abandonar el «ruedo». Un método de escape consiste en la formación de alquitranes sólidos, insolubles, y la mayoría de las moléculas corre esta suerte. El otro camino lleva de nuevo al recipiente de agua en ebullición. No obstante, para la mayoría de las moléculas orgánicas de pequeño tamaño, la estancia en el mismo será transitoria, pues fácilmente se reintegrarán a la fase gaseosa junto con el vapor de agua y volverán a la cámara de descarga. Pero los ácidos carboxílicos pueden hallar refugio permanente en el matraz de agua. En las condiciones del experimento, se convierten en una forma inamovible tras su llegada al mismo, y, por consiguiente, permanecen a salvo.

La familia de los ácidos carboxílicos es numerosa, claro está, con un número ilimitado de miembros, y en el experimento de Miller y Urey sólo se recogieron unos pocos. ¿Cuáles fueron los favorecidos? Una ojeada a la lista revela que los presentes eran todos sencillos. El producto principal, con una concentración del 4 %, era el más pequeño de los ácidos carboxílicos posibles, el ácido fórmico, que tiene sólo cinco átomos. Otras sustancias de la lista contenían de ocho a dieciséis átomos. Como apuntábamos antes, estos supervivientes escaparon de la chispa tras una exposición limitada y sólo tuvieron oportunidad de formar unos cuantos enlaces químicos. Otro factor reducía asimismo la producción de moléculas mayores. A medida que aumenta el número de átomos de una molécula, el número de estructuras alternativas que cabe construir con estos átomos se multiplica enormemente. Con sólo carbono, hidrógeno, oxígeno y/o nitrógeno, no se puede sintetizar ningún otro ácido carboxílico de cinco átomos que no sea el ácido fórmico; pero existen ya tres ácidos estables distintos que tienen por fórmula específica $C_3H_7NO_2$ (3 átomos de carbono, 7 de hidrógeno, 1 de ni-

trógeno y 2 de oxígeno). Los tres figuran en nuestra lista con un porcentaje total combinado del 2,7 %. En el caso de los ácidos muy grandes, el número de estructuras en competencia sería mayor, y la concentración de las especies individuales disminuiría.

Aparte de estas consideraciones generales, la lista presenta ciertas excentricidades. Las concentraciones de varios ácidos carboxílicos eran más altas o más bajas de lo que sería de esperar si sólo intervinieran los factores anteriores. El segundo ácido más sencillo, el ácido acético, el componente acre tan característico del vinagre, tiene sólo ocho átomos. Estaba presente, pero sólo en un 0,5 %, muy por detrás del ácido fórmico. Cabría haber esperado bastante más. Peculiaridades como ésta reflejan los procesos químicos específicos que acontecen en la chispa, favoreciendo unas vías y retardando otras. Aunque menos admitido, otro factor con influencia en los productos formados en un experimento de este tipo es la selección por parte del experimentador. Podemos apercibirnos de su peso en este caso, porque Stanley Miller ha sido absolutamente franco al documentar el curso de su trabajo.

Lo notable de su experimento radica en la producción de aminoácidos; sin embargo, en un primer intento no se detectaron en absoluto. Utilizó la misma mezcla de gases y la misma chispa, pero colocó los compartimientos en un orden diferente. Prosigamos con sus propias palabras: «Llené el aparato con la hipotética atmósfera primitiva —agua, metano, hidrógeno y amoníaco—, conecté la corriente eléctrica y lo dejé funcionando toda la noche. A la mañana siguiente había una fina película de hidrocarburos en la superficie del agua, película que, al cabo de varios días, engrosó algo. Así que corté la corriente y busqué aminoácidos mediante cromatografía unidimensional en papel.»

No apareció ninguno. Miller no analizó en esa ocasión la naturaleza de los productos formados, sino que recompuso el aparato y lo intentó de nuevo. En el siguiente ensayo obtuvo un resultado que le satisfizo, y esa disposición del aparato fue la que se adoptó en los sucesivos experimentos. En fecha posterior, se introdujo una modificación, si bien no fue de ninguna utilidad. Se ha comparado a menudo la acción de la chispa con el efecto de un rayo, y Miller hizo un esfuerzo para mejorar la analogía: «Intenté remedar la descarga en un condensador hasta hacer saltar la chispa en el espacio entre los electrodos [...]. Se produjeron muy pocos compuestos orgánicos y no se entró en más averiguaciones con esta descarga.»

Sin embargo, con unos componentes dados y un diseño ade-

cuado, siempre se obtenía la misma mezcla de productos, aminoácidos incluidos. Miller se esmeró en demostrar que los productos eran exactamente lo que él decía que eran, y que se habían producido por efecto de la descarga eléctrica, no por introducción fortuita de material biológico. Así y todo, las concentraciones finales podían variar. Veinte años después de sus primeras investigaciones, Miller escribía: «Resulta sorprendente que las concentraciones en aminoácidos de aquellos primeros experimentos son las máximas recogidas hasta hoy en cualquier experimento prebiótico de esta índole.» Así, en las dos primeras tentativas, había obtenido los peores y los mejores resultados posibles.

De todo esto, una cosa debería quedar bien clara: son posibles diversos resultados a partir del mismo tipo general de experimento. Al parecer, manipulando variables secundarias, el experimentador puede influir profundamente en los resultados. Los datos presentados pueden ser válidos, pero si sólo se comunican estos resultados puede transmitirse una impresión falsa acerca de la universalidad del proceso. Esta situación fue subrayada por un autor creacionista, Martin Lubernow, que comentaba: «Estoy convencido de que en todo experimento sobre el origen de la vida ideado por los evolucionistas, la inteligencia del experimentador interviene de tal manera que prejuzga el experimento.»

LOS ELEMENTOS DE CONSTRUCCIÓN

Experimentos como el de Miller y Urey nos han enseñado mucho, sin duda, acerca de los procesos de la química orgánica en fase gaseosa. Veremos en seguida que también tienen importancia para la cosmoquímica. Lo que más nos preocupa, sin embargo, es su relación con el origen de la vida. Se pretendía que el agua, los gases y la chispa eléctrica representasen el mar, la atmósfera y el relampagueo de la tierra primitiva. Esta comparación puede no ser correcta, sobre todo en el caso de la atmósfera. La afirmación más importante que suele hacerse en relación con el experimento de Miller y Urey —y que encontramos en la cita de William Day—, es que produce «elementos para construir la vida». Detengámonos a recordar la identidad de estos elementos constructivos.

Los principales materiales de construcción empleados en una bacteria (o en nosotros, si prescindimos del equipo especial, como los dientes y los huesos) son las proteínas, los ácidos nucleicos, los

polisacáridos y las grasas. En conjunto, estos materiales suponen quizás el 90 % del peso seco de una célula bacteriana. Estas grandes moléculas contienen de centenares a miles de millones de átomos. No se ha identificado nunca ninguna, ni siquiera en cantidades mínimas, en un experimento Miller-Urey. Prestemos ahora atención a los elementos de construcción de estos elementos de construcción. Los ácidos nucleicos están hechos de nucleótidos, que a su vez lo están de una base nitrogenada, un azúcar y fosfato. En el experimento no se añadió fosfato, de modo que no podían formarse nucleótidos, pero podrían haberse formado glucósidos (combinación de base nitrogenada y azúcar, sin fosfato), y no ocurrió así. No se formó ninguno de la docena de azúcares empleados comúnmente para construir polisacáridos, ni tampoco se ha apuntado, en las reacciones Miller y Urey, producción significativa alguna de los elementos de construcción normales de las grasas. La mayoría de estas sustancias contienen veinte o más átomos, y no sería de esperar que aparecieran, por las razones que hemos expuesto.

Por último, fijémonos en los aminoácidos, los elementos de construcción de las proteínas. Como hemos visto, ellos y otros ácidos carboxílicos son los principales productos de las reacciones Miller-Urey, o al menos de las analizadas con cierto detalle. De los trece productos más concentrados (excluido el alquitrán), seis eran aminoácidos. Sin embargo, no todos esos aminoácidos tienen importancia biológica. En biología se emplea un grupo particular de veinte para la construcción de proteínas. ¿Cuál era su representación en los experimentos de descarga eléctrica?

Empezaremos con una nota alentadora. La glicina y la alanina, miembros del grupo, figuran en segundo y cuarto puesto en la lista, con concentraciones de 2,1 y 1,7 % respectivamente. Sin embargo, la alanina y todos los demás aminoácidos distintos de la glicina se presentan en las formas D y L, cuando sólo las L están presentes en los seres vivos. Por esta razón, sólo la mitad de la alanina producida tiene importancia. Si buscáramos entre los productos Miller y Urey otros elementos de construcción de proteínas presentes en cantidades significativas, nuestra búsqueda sería en vano. El siguiente en orden de concentración contabiliza en su forma L un 0,026 % (260 partes por millón), y los demás son aún más escasos. Figuran entre una multitud de sustancias orgánicas presentes como trazas: el «Beilstein» mencionado por Urey. Las restantes sustancias formadas en cantidades significativas durante el experimento no pueden ser consideradas elementos de construcción de las grandes

moléculas de la vida. Algunas desempeñan funciones secundarias en algún que otro sistema biológico. El ácido fórmico, por ejemplo, desempeña una función especial en las hormigas (uno de los primeros métodos empleados para su aislamiento consistía en la aplicación de calor seco a un matraz lleno de estas infortunadas criaturas muertas). Se requieren unas dotes de imaginación aún mayores que las que a menudo se manifiestan en estos dominios para establecer una conexión entre este hecho, la importancia del ácido fórmico en un experimento Miller-Urey y el origen de la vida.

Resumamos lo dicho hasta aquí sobre los experimentos realizados por Miller. La sustancia que se producía con más abundancia era el alquitrán. Entre las moléculas pequeñas producidas, quizás unas trece admitirían el calificativo de significativas. Existen unos cincuenta compuestos orgánicos pequeños que pueden considerarse «elementos de construcción», de los cuatro tipos más grandes de moléculas importantes para la vida, y sólo dos de esta cincuentena figuraban entre los productos Miller-Urey significativos: la glicina y la alanina, los dos aminoácidos más sencillos de las proteínas, miembros de una clase favorecida por el diseño del experimento. Estos resultados han sido documentados por Miller y son incuestionables; es su interpretación lo que ha de preocuparnos.

Como hemos visto, los productos del experimento guardan muy poca similitud con el contenido real de una bacteria, que es una intrincada y organizada estructura erigida con grandes moléculas. Aunque se desguzaran estas grandes moléculas en sus elementos constitutivos, la mezcla resultante sólo coincidiría mínimamente en su composición con la del experimento de Miller. En cambio, los productos Miller-Urey guardan un parecido mucho mayor con otros objetos naturales: cierta clase de meteoritos.

LA CONEXIÓN METEORÍTICA

No todos los escombros presentes en el Sistema Solar durante la época de su formación fueron capturados por el Sol, los planetas o sus satélites. Cierta número de fragmentos menores sobrevivió en órbitas independientes. Los rocosos reciben el nombre de meteoritos, mientras que a los compuestos fundamentales de hielo los llamamos cometas. De vez en cuando, un meteorito entra en nuestra atmósfera y choca con la superficie de la Tierra sin haberse desintegrado por completo.

Los fragmentos recuperados han sido objeto de intensas investigaciones, pues son muestras del material original presente en la nebulosa solar hace 4.500 millones de años y quizá puedan contar-nos algo sobre el origen de nuestro Sistema Solar. Los meteoritos pueden contener incluso partículas de la materia interestelar que precedió a nuestro Sistema Solar. Estos temas son fascinantes, pero no nos interesan aquí, y nuestro interés se centrará ahora en una subclase de meteoritos conocidos con el nombre de condritas carbonosas, que contienen un pequeño porcentaje de carbono.

La mayor parte de este carbono está combinado como material insoluble, alquitranado. El resto consiste en una complejísima mezcla de moléculas pequeñas que ha recibido el nombre de «séquito aleatorio» o de «almacén químico» por parte de los equipos científicos que realizaron los análisis. También se podría emplear aquí el término «Beilstein», pues cada componente está presente en cantidades muy limitadas. Hay ácidos carboxílicos de varias clases, entre ellos los aminoácidos. Cuando se compara la identidad y la concentración *relativa* de los aminoácidos de estos meteoritos con los de los experimentos Miller-Urey, se observa un paralelismo asombroso. En palabras de dos científicos, J. G. Lawless y E. Peterson, «la comparación de los aminoácidos lineales neutros presentes en el meteorito Murchison, en los experimentos de laboratorio sobre evolución química y en los organismos terrestres revela una acusada similitud entre el meteorito y los experimentos de laboratorio, y una diferencia significativa entre el meteorito y *Escherichia coli*».

El Murchison es un archiestudiado meteorito que cayó en Australia en 1969, y *Escherichia coli* es el nombre de una especie de bacteria, aún más estudiada, que habita en nuestro intestino. Así pues, los experimentos Miller-Urey pueden haber remedado algunos de los procesos que acontecieron en los gases reductores de la nebulosa solar originaria y que dieron lugar a los compuestos ahora preservados en los meteoritos. He utilizado la palabra «algunos» precisamente aquí y subrayado la palabra «relativa» del párrafo anterior porque los aminoácidos y demás ácidos carboxílicos se presentan en cantidades absolutas que son mucho más bajas en los meteoritos que en los experimentos Miller-Urey. Como se indicó anteriormente, el diseño del aparato de descarga puede haber favorecido estos compuestos e incrementado sus concentraciones en relación con las cantidades que cabría esperar en circunstancias naturales apropiadas. Si dejamos de lado esta mayor concentración

global, la verdadera aportación de dichos experimentos radica quizás en su valor como modelo de ciertos procesos químicos del espacio exterior.

EL REINO DE LA PREDESTINACIÓN

Nos quedamos con una pregunta enigmática, irresuelta, que atañe a la psicología y a la historia más que a la química: ¿Por qué el experimento de Miller y Urey tuvo un impacto tan fuerte en el campo del origen de la vida? Para responder a esto debemos examinar distintos sistemas de creencias.

A comienzos del siglo XIX se pensaba que la diferencia esencial entre los sistemas vivos y los inanimados radicaba en la naturaleza de los compuestos químicos empleados en su construcción. Los compuestos orgánicos contenían fuerza vital, mientras que las sustancias inorgánicas no la tenían. Se pensó en el nombre de «química orgánica» para definir el campo que ahora llamamos bioquímica. En 1828, un químico alemán, Friedrich Wohler, preparó urea —un ingrediente de la orina— a partir de otra sustancia que se consideraba inorgánica. Wohler escribió a un colega: «Tengo que decirle que puedo preparar urea sin necesidad de un riñón o de un animal, sea perro o ser humano.» Desde entonces se ha comprobado que la preparación de compuestos orgánicos no es una hazaña que entrañe grandes dificultades ni que tenga especial trascendencia para la vida. El descubrimiento de mezclas de compuestos orgánicos en los meteoritos y, como veremos, en el espacio interestelar habla de la facilidad y universalidad de este proceso. El paso difícil en el origen de la vida está en otro sitio, no aquí. Y sin embargo, parte de la confusión en la ciencia y en los medios de comunicación tiene que ver precisamente con este punto. El químico William Day afirma en su descripción de los resultados de Miller: «Ya no cabía dilema alguno acerca de cómo los organismos podrían haber producido compuestos orgánicos antes de existir ellos mismos: los elementos de construcción ya estaban allí, en la tierra primigenia.» En realidad, ese dilema había quedado ya zanjado un siglo antes.

Reina también la confusión en lo concerniente a los productos reales de los experimentos. Miller, desde luego, se ha mostrado franco y preciso en todas sus publicaciones y resúmenes. Sin embargo, podemos leer la siguiente afirmación en la archiutilizada *Bio-*

química de A. L. Lehninger: «Muchas formas distintas de energía o radiación inducen la síntesis de compuestos orgánicos a partir de estas sencillas mezclas de gases, compuestos que incluyen representantes de todas las clases importantes de moléculas presentes en las células, así como muchas no presentes en las mismas.» Semejante afirmación, así escrita, es sencillamente incorrecta. Sólo es verdad para algunas moléculas, si se prescinde de las consideraciones sobre la concentración de una sustancia y se considera sólo como significativa su mera presencia, no importa en qué cantidad. Recientemente, por ejemplo, Cyril Ponnampereuma detectó las cinco bases nitrogenadas del ADN y el ARN (todas las cuales contienen de doce a dieciséis átomos) en una mezcla del tipo Miller-Urey y en un meteorito. Estos compuestos se presentaban en concentraciones del orden de dos partes por millón, y sin embargo Ponnampereuma lo calificaba, en una conferencia de prensa, de «resultado poco menos que pasmoso». El pasmo debió verlo en la mirada de los periodistas, porque nada en el resultado mueve a tanto.

De otras sustancias bioquímicas —los nucleósidos, por ejemplo— jamás se ha señalado su presencia en experimentos de esta índole, por más que se ha levantado toda una mitología que defiende lo contrario, y hace extensiva tal conclusión incluso a moléculas más complicadas. He encontrado diversas manifestaciones en publicaciones científicas que aseguran que se han preparado proteínas y ácidos nucleicos sometiendo una atmósfera reductora a distintas fuentes de energía.

Estos errores reflejan el funcionamiento de todo un sistema de creencias, sistema que calificaré de predestinador. El que cree en la predestinación está convencido de que las leyes del Universo llevan en sí la predisposición a favorecer la producción de compuestos químicos vitales para la bioquímica y, en último término, para el propio ser humano. Según este sistema, en el origen de la vida no mediaría ningún proceso singular. Si montamos el experimento adecuado, todo encajará rápidamente en su sitio. Para los acólitos de la predestinación, el experimento de Miller y Urey supuso el esperado refrendo de sus creencias. Si se formaban glicina y alanina, a buen seguro que los restantes aminoácidos también aparecerían en grandes cantidades —así como los nucleótidos— en cuanto se practicasen las oportunas modificaciones experimentales. El principio ya había asomado; lo demás era sólo cuestión de escarbar.

Los hechos no apoyan esta creencia, ni podemos extrapolarla a partir de lo que sabemos. Los nucleótidos, por ejemplo, una vez in-

tegrados en el ADN realizan bastante bien la tarea de almacenar y transferir información. Presumiblemente se necesitó un largo período de ensayos y errores evolutivos para poner a punto este mecanismo. ¿Por qué habríamos de esperar que se formaran preferentemente los componentes necesarios con anterioridad al inicio de la vida? Si fue así, entonces es evidente que alguien dispuso las cosas de ese modo. Este sesgo podría deberse a un espíritu místico de evolución cósmica o a una genuina divinidad. Alguien o algo del exterior se preocupa de nosotros. Ideas de este tipo pueden resultar consoladoras, pero se alejan de toda posibilidad de ser probadas experimentalmente. Pertenecen a la religión o la mitología, no a la ciencia.

LA HIPÓTESIS OPARIN-HALDANE

Hasta aquí hemos examinado el primer experimento Miller-Urey como si se hubiera producido aisladamente. En realidad, su inspiración y su impacto estaban vinculados a las circunstancias históricas que le precedieron. El experimento fue aceptado como prueba no sólo de las creencias que hemos descrito, sino de una teoría que, poco a poco, se había ganado la aprobación científica. Como mencionábamos antes, esta teoría fue propuesta independientemente, en los años veinte, por Alexander Oparin en la Unión Soviética y John B. Haldane en Inglaterra.

Su hipótesis llenó el cuasivacío en el pensamiento sobre el origen de la vida que existía desde el desmoronamiento de la generación espontánea. Pasteur había demostrado que los seres vivos sólo provienen de seres vivos anteriores; pero entonces, ¿cómo surgió la primera forma viva? A falta de una respuesta científica viable, los que necesitaban una respuesta sólo podían dirigirse a la religión. Para algunos científicos, en particular los que defendían la evolución del ataque de los fundamentalistas, la situación era inaceptable. El remedio más evidente era el restablecimiento de alguna forma de generación espontánea, con la disposición complementaria de que requiriera condiciones presentes en la Tierra hace mucho tiempo, pero no en la actualidad. Además, surgió la idea de que la formación de un microorganismo completo podría no ser necesaria. Para poner en marcha la vida, podría ser suficiente que naciera una pequeña parte de una célula —una proteína o incluso un poco de protoplasma geliforme—.

Haldane publicó sus ideas en una ocasión y luego centró su atención en otras áreas de la ciencia. Oparin, sin embargo, persistió en el desarrollo de la teoría. Ésta recabó una gran atención científica cuando el libro de Oparin fue traducido al inglés en 1938, y cobró importancia y credibilidad cuando Harold Urey la apoyó y amplió a comienzos de los años cincuenta. Urey había recibido el premio Nobel de química en 1934 por el descubrimiento de un isótopo estable del hidrógeno, el deuterio. Durante la Segunda Guerra Mundial, Urey desempeñó un papel importante en el proyecto Manhattan, que desarrolló las aplicaciones militares de la energía atómica. Posteriormente, mostró un fuerte interés por la química del Sistema Solar. En su influyente obra *The Planets* (1952), Urey corroboraba los diversos elementos de la hipótesis Oparin-Haldane.

En su forma madura, la teoría se puede resumir como sigue: 1) La Tierra, por la época en que comenzó la vida, tenía una atmósfera reductora, libre de oxígeno, con metano, amoníaco, hidrógeno y agua. 2) Esta atmósfera se vio expuesta a diversas fuentes de energía —como los relámpagos, la radiación solar y el calor volcánico— que condujeron a la formación de compuestos orgánicos. 3) Estos compuestos, en palabras de Haldane, «debieron de acumularse hasta que los océanos primitivos alcanzaron la consistencia de una sopa caliente diluida». (La comparación con una sopa ha prendido en la imaginación del público, y el océano lleno de sustancias orgánicas recibe generalmente el nombre de sopa prebiótica o primigenia. Una exposición reciente del NASA Aerospace Museum, en Washington, mostraba una película de la cocinera de televisión Julia Child preparando una de estas sopas. Por razones que explicaré más adelante, no la recomendaría para consumo humano, si bien algunas bacterias crecerían muy bien en ella. Por este motivo, y por la presencia de oxígeno en la atmósfera, una sopa de este tipo no podría persistir hoy día.) 4) La vida se desarrolló en esta sopa merced a transformaciones ulteriores. Según Urey, los ingredientes de la sopa «permanecerían durante largos períodos de tiempo en los océanos primitivos [...] y esto supondría una situación muy favorable para el origen de la vida».

La teoría no especificaba los detalles de la última etapa. Como veremos, existe un considerable desacuerdo sobre ese tema; los mismos Haldane y Oparin tenían ideas muy diferentes al respecto. Necesitaríamos buena parte de lo que queda de libro para clasificar las diversas posibilidades barajadas, pero de momento nos centraremos sólo en las tres primeras partes de la teoría.

Para estudiarlas recurriremos a la actitud de Escéptico: deslindar lo lógico de lo ilógico y la ciencia de la mitología. De entrada, hemos de señalar que el experimento de Miller y Urey se inspiró en la teoría, pero sólo puso a prueba el segundo punto. Sin embargo, a menudo se da por sentado que el experimento la confirmó en su totalidad. Por ejemplo, un texto actual de geología, escrito por R. A. Goldsley, afirma: «Estos experimentos han producido muchos compuestos químicos fundamentales para la vida. Parece plausible, a la vista de tales resultados, que la descripción de Haldane de los océanos primitivos de la Tierra como una "sopa caliente diluida" de moléculas orgánicas sea correcta.» Sin embargo, tal descripción correspondería a la realidad sólo si los puntos 1) y 3) de la teoría fueran confirmados con algún tipo de evidencia. De hecho, las evidencias obtenidas hasta ahora y las opiniones de los científicos interesados por el tema apuntan en la dirección opuesta.

UN CAMBIO EN EL AIRE

La existencia de una atmósfera primitiva fuertemente reductora es la suposición central de la hipótesis Oparin-Haldane, y subyace en el diseño del experimento de Stanley Miller. Por supuesto, no tenemos manera de tomar muestras del aire de hace 4.000 millones de años, y las conclusiones sobre su composición tienen que ser indirectas. Urey basaba su argumento en la abundancia cósmica de hidrógeno y la composición probable de la nebulosa solar. Como veíamos en un capítulo anterior, el consenso geológico actual apoya la idea de que la atmósfera vino del interior de la Tierra, no de la nebulosa. Las opiniones sobre su composición varían; no obstante, la conjetura más oída se decanta por la presencia de nitrógeno, dióxido de carbono, vapor de agua y un poco de hidrógeno; nada de metano, amoníaco u oxígeno. Esta atmósfera es fundamentalmente neutra, con un ligero poder reductor. Los geólogos se dan cuenta ahora de que una atmósfera de amoníaco y metano habría sido destruida en unos pocos miles de años por las reacciones químicas desencadenadas por la luz solar.

Stanley Miller y otros han intentado preparar aminoácidos bajo nuevas condiciones. La proporción entre el hidrógeno y el dióxido de carbono en los gases de la mezcla es una variable crucial. Cuando se encuentra por debajo de 1, como se supone en la hipótesis expuesta en el párrafo anterior, se producen sólo trazas de glicina,

y ningún otro aminoácido más. Miller ha sido muy claro en sus declaraciones: «Es difícil que se mantuvieran proporciones hidrógeno/dióxido de carbono superiores a 1 [en la Tierra primitiva], por la tendencia del hidrógeno a escapar de la atmósfera. Quizá fuentes de hidrógeno adecuadas hubieran podido mantener esta proporción, pero es difícil pensar cuáles pudieron ser.» En otro lugar, señala: «Si aceptamos que se necesitaron aminoácidos más complejos que la glicina para el origen de la vida, entonces estos resultados hacen imprescindible la presencia de metano en la atmósfera.»

La hipótesis Oparin-Haldane también requiere metano en la atmósfera. La falta de este gas o de otras sustancias reductoras entrañaría que algún otro curso de los acontecimientos, no descrito por la teoría, condujo al origen de la vida. Sin embargo, esta definición ha sido omitida por algunos partidarios de la hipótesis. Por ejemplo, el astrónomo Manfred Schidlowsky afirmaba en una reunión celebrada en 1977: «El hecho mismo de que apareciera vida en la Tierra constituye una prueba decisiva de un medio básicamente reductor, ya que esto último es un requisito previo para el origen espontáneo y la evolución química de la vida.» Y en 1983, en un texto de bioquímica editado por Geoffrey Zubay se leía lo siguiente: «Para producir aminoácidos, la atmósfera primitiva debe de haber contenido equivalentes reductores bajo una u otra forma, pues no se origina ninguna biomolécula ni precursor de la misma cuando se somete una mezcla de dióxido de carbono, agua y nitrógeno a la acción de una chispa eléctrica.»

Hemos llegado a una situación en que algunos han aceptado una teoría como verdad, y se ha relegado toda posible evidencia contraria a un segundo plano. Esta condición caracteriza la mitología, no la ciencia.

EL MITO DE LA SOPA PREBIÓTICA

A la sopa prebiótica no le ha ido mucho mejor que a la atmósfera reductora. El título de este apartado no es mío, sino que lo tomé de un importante artículo de un geólogo sueco, Lars Gunnar Sillen. Dicho geólogo supone la existencia de una atmósfera rica en metano, pero pone en duda la supervivencia de una sopa bajo tales condiciones. Abandonada a su aire, argumenta, esta sopa se desplazaría al estado de máxima estabilidad: el equilibrio. Alcanzado dicho estado, habríamos vuelto al punto de partida, con casi todo

el carbono en forma de metano y concentraciones insignificantes de aminoácidos. Por supuesto, se puede mantener un sistema lejos del equilibrio mediante un aporte continuo de energía. Tal es la circunstancia de la vida actual. Sin embargo, se necesitarían cantidades formidables de energía para mantener todo un océano en ese estado. Además, las mezclas de productos químicos orgánicos son mucho menos diestras que los sistemas vivos en la manipulación de un flujo intenso de energía. Como vimos en los experimentos Miller-Urey, los componentes de tales mezclas continúan formando enlaces químicos hasta producir un espeso material insoluble, un alquitrán, a menos que se resguarden en algún tipo de refugio.

Algunos testimonios del mundo actual apoyan este argumento. Una parte del material biológico arrojado a los océanos se altera por efecto de acontecimientos químicos aleatorios, y deja de ser apetecible para los organismos vivos. Este material puede servir, por tanto, de modelo de las sustancias orgánicas presentes en el océano antes de que comenzara la vida. El químico Arie Nissenbaum ha estudiado su destino y observa que no se acumulan en los océanos. Las concentraciones permanecen bastante bajas y la edad media de los materiales no supera los 3.500 años, pues diversos procesos geológicos los merman. Las moléculas más pesadas precipitan y forman depósitos. Otras sustancias son absorbidas por minerales que se compactan en sedimentos (los sedimentos depositados a lo largo de todo el registro de la historia geológica contienen compuestos orgánicos de este tipo). Si alguna vez se formó la sopa prebiótica, debió de seguir el mismo destino, si antes no encontró otro destino: el retorno al equilibrio.

LA RETIRADA DE LA HIPÓTESIS

El conocimiento de estos progresos se ha divulgado en los últimos años entre la comunidad científica interesada por el origen de la vida, y ha erosionado el paradigma Oparin-Haldane. Como cabría esperar en estas circunstancias, se ha intentado poner a salvo cuanto pudiera ser rescatado. Se ha especulado que los meteoritos, los cometas o incluso una colisión con una nube de polvo cósmico pudieron proveer suficiente material orgánico para abastecer los océanos prebióticos. Hipótesis de este género abandonarían la atmósfera reductora, pero salvarían la sopa. Para suministrar material suficiente con que apoyar ideas de este tipo, hay que partir de pos-

tulados especiales acerca de la frecuencia de llegada de cuerpos extraterrestres y la supervivencia de los compuestos orgánicos durante el proceso de entrada e impacto. Ninguna prueba sustenta estos postulados. No se pueden descartar estas especulaciones, aunque han de permanecer en suspenso hasta que les llegue alguna confirmación. Con todo, una hipótesis de esta índole, con cometas de por medio, resulta tan espectacular que más adelante le dedicaré todo un capítulo.

El biólogo Carl Woese, de la Universidad de Illinois, ha propuesto otra alternativa pintoresca y radical. El profesor Woese no ha tenido pelos en la lengua a la hora de criticar el dogma vigente cuando afirma: «Hace mucho que la tesis de Oparin ha dejado de ser un paradigma productivo. Ya no genera enfoques originales del problema; las más de las veces precisa modificaciones para dar cuenta de hechos nuevos; y ahora, su efecto global es atontar y producir desinterés por el problema del origen de la vida. Estos síntomas hablan de un paradigma acabado, que ya no es un modelo válido del verdadero estado de cosas.»

Y a fe que la hipótesis de Woese es ciertamente original. Propone que la vida comenzó en los más tempranos días de la Tierra, antes de que el planeta estuviera completamente formado. Por entonces, manto, núcleo y corteza todavía no estaban diferenciados del todo. En la superficie había grandes cantidades de hierro metálico. Participaba éste en reacciones químicas que produjeron una atmósfera con dióxido de carbono e hidrógeno. La cantidad de dióxido de carbono era suficiente para producir el «efecto invernadero»: unas condiciones tórridas, similares a las que imperan en el Venus actual. La superficie estaba caliente, fundida quizás en algunos lugares. La lluvia de meteoros era intensa. Los fuertes vientos producían tormentas de polvo violentísimas, arrastrando partículas a lo alto de la atmósfera. El vapor de agua se condensaba en esas partículas, lo cual producía inmensas nubes de diminutas gotitas de agua. Dichas nubes, el único oasis habitable en un planeta turbulento, hicieron de plataforma de la vida. Cada gotita actuó como una célula primitiva, como un pequeño laboratorio para experimentos de evolución química.

Según esta teoría, la atmósfera y el polvo proporcionaron las materias primas, y el Sol suministró la energía. Los primeros organismos en evolucionar fueron los metanógenos, lo que redujo el dióxido de carbono de la atmósfera al combinarlo con hidrógeno. A medida que menguaron las concentraciones de dióxido de carbo-

no, amainaron las condiciones del efecto invernadero y la Tierra se enfrió. Pudieron formarse entonces los océanos y nuestro planeta se aproximó a su estado presente.

También se han propuesto soluciones menos revolucionarias para soslayar las dificultades del paradigma en curso. Si hace falta un medio ambiente reductor para el origen de la vida, no es preciso subvertir todo un planeta a tal fin. Bastaría con tener algún nicho local donde prevalecieran las condiciones reductoras. El propio Charles Darwin propuso una pequeña charca como posible origen de la vida, y otros han seguido su ejemplo. Las lagunas de marea han sido una alternativa muy popular. Pero el emplazamiento más de moda en estos últimos años es muy diferente: las fuentes termales del fondo del mar.

Estas fuentes se presentan en lugares donde la corteza terrestre es delgada y la roca fundida se aproxima a la superficie. Hay un grupo de ellas cerca de las islas Galápagos, allí donde Charles Darwin logró hacerse una idea acerca del origen de las especies. El lugar ha sido explorado intensamente en el transcurso de varias expediciones que emplearon una nave sumergible: el *Alvin*.

Las fuentes termales emiten compuestos químicos reductores, entre otros ácido sulfhídrico, metano y amoníaco, además de agua caliente. Las bacterias que allí viven obtienen la energía química del ácido sulfhídrico, mientras que otros organismos más avanzados, como los gusanos y los moluscos, dependen en último término de las bacterias como recurso alimenticio. Así pues, en el fondo del mar existe todo un ecosistema independiente de la radiación solar.

El agua hierve a elevadas temperaturas cuando está sometida a la altísima presión que reina bajo 2.500 m de océano. Y, cosa extraordinaria, algunas comunidades bacterianas parecían crecer bien en estas condiciones, a temperaturas de 360° C. En el laboratorio, las muestras se desarrollaban, bajo presión, a 250° C. Hasta entonces no se conocía organismo alguno que sobreviviera mucho tiempo a temperaturas superiores a 105° C. Sin embargo, noticias excepcionales de este calibre exigen una respuesta escéptica de parte de los demás científicos. La aceptación definitiva vendrá de sucesivas repeticiones y confirmaciones experimentales. En realidad, se han levantado voces en el sentido de que los resultados son artefactos, y, hoy por hoy, la decisión es incierta.

Estas circunstancias inusuales, junto con las condiciones reductoras que imperan en las aguas de las fuentes, han animado la hipótesis de que la vida surgió en esas fuentes al comienzo de la his-

toria de la Tierra. Los procesos químicos se desarrollarían a ritmo acelerado en este medio, con independencia de los sucesos atmosféricos. Pero, por otro lado, el número limitado y la vida relativamente breve de las fuentes termales son factores en contra. Las fuentes termales son una posible localización del origen de la vida, pero no la única, ni tiene por qué ser la más favorable.

Pueden darse otras muchas soluciones locales al problema del medio ambiente reductor. En esta fase de nuestros conocimientos, no podemos estar ni siquiera seguros de que fuera realmente necesario un medio reductor. La teoría de la arcilla, por ejemplo, sostiene un punto de vista diferente. Además, la especificación del emplazamiento correcto no es el problema más crítico que encara la teoría del origen de la vida. Los productos Miller-Urey, como hemos visto, no nos llevan muy lejos por la senda del organismo vivo. Una mezcla de compuestos químicos simples, aun cuando esté enriquecida con aminoácidos, se parece tanto a una bacteria como un montoncito de palabras sin sentido, escrita cada cual en un pedazo de papel, a las obras completas de Shakespeare.

Lo que nos interesa son los acontecimientos posteriores en el seno de la mezcla química inicial. Estos acontecimientos no aparecían en los guiones que hemos examinado en este capítulo. Las publicaciones de divulgación sobre el origen de la vida prestan, por lo general, escasa atención a este aspecto del problema. Se da por sentado que, con tiempo suficiente, la mezcla de moléculas en la sopa prebiótica producirá, más pronto o más tarde, un sistema vivo. En el próximo capítulo dedicaremos nuestra escéptica atención a semejante hipótesis.

V. LAS POSIBILIDADES

Se han propuesto lugares de lo más exótico y colorista para el origen de la vida: las nubes, el fondo del mar, las lagunas mareales, las entrañas de los cometas y los planetas que giran alrededor de otros sistemas estelares. Estas propuestas han sido tan espectaculares que han hecho que el problema del lugar de origen eclipse un interrogante más fundamental: ¿qué estaba sucediendo realmente cuando se originó la vida?

Los partidarios de cada emplazamiento arguyen, de ordinario, que el suyo es el lugar más adecuado para un tipo de química como la de Miller y Urey. En él se presentarían las oportunas condiciones reductoras y en él las reacciones se desarrollarían tan bien como lo hacen en el laboratorio. Pero aunque así fuera, poco se habría consumado. Un abismo inmenso separa una mezcla química que contiene unos cuantos aminoácidos de la complejidad sumamente organizada de la más simple célula viva de nuestros días.

Los organismos de vida libre más pequeños son, posiblemente, los micoplasmas, minúsculas bacterias que tienen sólo una fracción de la longitud de la más típica, la que vimos en nuestro viaje con el ascensor de magnitudes. En el nivel —6 de dicho ascensor, donde bacterias como *Escherichia coli* tienen más o menos nuestro tamaño, un micoplasma se aproximaría al de una pelota de baloncesto. Así y todo, estas infinitésimas criaturas poseen membrana celular, ribosomas, ADN, multitud de enzimas y todas las restantes complejidades asociadas con la vida en este planeta. Como veremos, los virus son normalmente mucho más pequeños que los micoplasmas, pero no son seres vivos independientes. Funcionan como organismos parciales, incompletos.

Si la vida se originó a partir de una mezcla química sencilla, en-

tonces necesitamos conocer los pasos que llevaron de esta mezcla, por una escala de organización, a la primera célula viva. El problema seguiría siendo el mismo tanto si la mezcla se hubiera formado en algún ambiente terrestre como si lo hubiera hecho en cualquier otro lugar del Universo. Hemos visto que la multiplicación y la selección natural proporcionan un mecanismo razonable para la ulterior evolución del ancestro común. Sin embargo, esa criatura no debe de haber sido muy distinta de una bacteria en cuanto a complejidad. Lamentablemente, la incertidumbre rodea los procesos que le dieron origen.

Una suposición corriente a lo largo de la historia ha sido que el primer organismo se formó por azar; que una mezcla adecuada se fue reordenando aleatoriamente hasta que apareció una célula viva. Estas ideas estaban muy extendidas en la época de Louis Pasteur, cuando aún no se conocía la complejidad de las células más pequeñas. Sus experimentos proveyeron pruebas rotundas contra la generación espontánea de las bacterias, pero la idea no se extinguió de pronto, sino lentamente. Muchos años después, a principios del siglo XX, Henry Bastian se afanaba todavía en su laboratorio con la esperanza de que la aplicación de la cantidad de calor suficiente para matar todos los seres vivos de sus caldos de cultivo los dejara aún con capacidad para producir nueva vida. En otro capítulo nos cruzaremos con Olga Lepeshinskaia, galardonada con el premio Stalin en 1950 por un trabajo que describe la generación espontánea de células. Con todo, estas actitudes son la excepción, y la práctica totalidad de los científicos actuales creen que no se pueden crear células vivas mediante procesos aleatorios a partir de sus ingredientes químicos.

Los creacionistas, y algunos grupos religiosos más, citan de vez en cuando esta circunstancia a título de prueba de la existencia de Dios. Una de sus analogías favoritas se refiere al hallazgo de un reloj durante un paseo por la selva. Imaginemos que nos encontramos uno en funcionamiento, y que al inspeccionar su interior descubrimos una asombrosa serie de engranajes y resortes que sirven para mantener las diversas manecillas en movimiento uniforme a lo largo de su recorrido. No supondremos que este mecanismo se ha montado por azar a partir de las piezas que lo componen, sino que más bien daremos por sentado que un relojero ha colocado todas las piezas del reloj exactamente en la forma debida. Del mismo modo, la existencia de bacterias y otros seres vivos —todos ellos mucho más complicados que un reloj— implica la existencia de un

creador, pues sólo un ser superior podría diseñar criaturas tan adaptadas a su función.

En este libro no seguiremos esta vía de escape, pues nos hemos comprometido a buscar una respuesta en el dominio de la ciencia. Si un reloj es complicado, el relojero debe de serlo aún más. Un ser con capacidad para crear un relojero sería el más complicado de la serie. Siguiendo esta línea de razonamiento convertiríamos el problema en más difícil, no más sencillo, y sólo nos cabría resolverlo si introdujéramos fuerzas sobrenaturales. Hemos de buscar otra solución si deseamos mantenernos dentro de la ciencia.

La analogía del reloj sirve para introducirnos en la naturaleza de nuestro problema, pero lo subestima. No bastaría con montar un reloj por azar, agitando sus piezas en una caja, para imitar la generación espontánea de vida, pues las piezas mismas son artículos manufacturados. La generación espontánea exige el montaje de una célula funcional a partir de las materias primas del medio ambiente. Como aproximación a este proceso, hemos de imaginar que ponemos una cantidad adecuada de minerales en bruto en una caja y que los agitamos. Los minerales incluirían hierro y otros metales, silicatos (para el vidrio) y caliza (para el carbono de los cojinetes de diamante). Si estos minerales, sacudidos todos juntos, reordenaran sus átomos para formar un reloj, habríamos conseguido una imitación más exacta de la generación espontánea.

Pero ni siquiera este ensayo imita la verdadera situación real. En el ejemplo anterior, intervinimos personalmente seleccionando los minerales, colocándolos en la caja y sacudiéndolos para ayudarles a interaccionar. Si hemos de eliminar esta intervención, deberíamos buscar un sitio en la selva donde los oportunos minerales se hallaran en la debida proximidad mutua. Si los procesos naturales del tipo de las emisiones de lava, los derrumbamientos de rocas, los cursos de agua o los terremotos, sirvieran para acopiar y refinar los minerales, para darles la forma de piezas, para reunir y montar éstas en un reloj funcional, entonces sí seríamos espectadores de una analogía puntual de la generación espontánea de una bacteria.

Pero las bacterias difieren sustancialmente de los relojes. Existe un procedimiento que puede convertir una mezcla del tipo Miller-Urey en bacterias. Sólo tenemos que añadir una bacteria de la clase apropiada a la mezcla química, y esperar. Al cabo de unos días, se habrá creado un gran número de bacterias nuevas a partir de los materiales presentes en la mezcla. La transformación ha sido recientemente demostrada, empleando un material llamado *tolina*

como fuente de alimento. Esta sustancia orgánica sólida, producto de las descargas eléctricas en ciertas atmósferas reductoras, está emparentada con los alquitranes del experimento Miller-Urey.

Cuando se suministra el alimento químico adecuado, en pocos días se pueden producir miles de millones de bacterias a partir de unas pocas. Sin embargo, el proceso no tendría lugar sin la semilla inicial. El proceso de multiplicación es tan espectacular, que algunos científicos que rechazan la generación espontánea como un hecho corriente sienten la tentación de recurrir a ella sólo por una vez en la historia de la Tierra, para poner la vida en marcha. Dado ese acontecimiento, todo lo demás podría seguir y el problema de nuestros orígenes estaría resuelto.

El profesor George Wald es quizás el representante más elocuente de este punto de vista. Se trata de un bioquímico de Harvard que ganó el premio Nobel en 1967 por sus investigaciones sobre la química de la visión. Wald también ha examinado críticamente ciertos temas ajenos a su especialidad, entre ellos el origen de la vida. Sus comentarios acerca de la generación espontánea, publicados en 1954 en un artículo de *Scientific American*, han sido ampliamente recogidos en textos y antologías. Mantendré esta tradición y lo citaré textualmente aquí: «Uno no tiene más que contemplar la magnitud de esta tarea para conceder que la generación espontánea de un organismo vivo es imposible. Y sin embargo estamos aquí de resultados, creo yo, de la generación espontánea.»

Esta contradicción queda resuelta si revisamos nuestro concepto de lo imposible. El profesor Wald señala que tendemos a usar esta palabra para aplicarla a sucesos que son muy improbables en nuestra experiencia cotidiana. Sin embargo, si se pudieran realizar ensayos repetidos de un suceso durante un larguísimo período de tiempo, un período mucho más largo que la historia humana, las posibilidades aumentarían considerablemente.

Veamos cómo los ensayos reiterados hacen probable un suceso improbable. Supóngase una caja con diez monedas. Si agitamos la caja y observamos cómo han caído las monedas, la probabilidad de que lo hayan hecho todas de cara sería inferior a 1 entre 1.000. Es muy improbable que se dé este resultado con un solo ensayo. Pero imagínese que pudiéramos sacudir la caja 1.000 veces. La probabilidad de obtener diez caras en al menos una ocasión es ahora del 63 %. El acontecimiento se ha vuelto probable.

Wald señala que no estamos acostumbrados a la idea de grandísimos números de ensayos. Sin embargo, si tal número es sufi-

ciente, lo improbable deviene probable. Voy a presentar otro ejemplo al respecto. Una lotería nacional puede trabajar con una ventaja de 10 millones a 1. De ganar en tales circunstancias, podríamos considerarnos muy afortunados. Ahora bien, si pudiéramos comprar un boleto cada día y nos fuera dado mantener este hábito durante 30.000 años, el éxito sería factible. (Por desgracia, el premio no bastaría para pagar el gasto acumulado en boletos.)

En el caso del origen de la vida, con un solo éxito sería suficiente. El tiempo podría ser de mil millones de años, y se dispondría de toda la superficie de la Tierra para probaturas, de modo que podrían darse muchas simultáneamente. Permítasenos citar al geólogo R. F. Flint en su *The Earth and its history*: «¿Cuántas veces podrían realizarse 10.000 ensayos de este tipo en un período de 3.300 millones de años? La imaginación se amilana ante la idea de calcular un número tan grande. Nadie familiarizado con la estadística rechaza por la posibilidad de que ciertas combinaciones químicas ocurran por azar por falta de tiempo. Lo hubo y en gran abundancia.»

Para otra exposición de este punto de vista, volvamos al artículo de George Wald en *Scientific American*: «El tiempo es realmente el héroe de la película. El tiempo con el que nos las tenemos que ver es del orden de dos mil millones de años. El término imposible según la experiencia humana carece aquí de significado. Con mucho tiempo por delante, lo improbable deviene posible; lo posible, probable; y lo probable, prácticamente seguro. Sólo hay que esperar: el tiempo realiza milagros.»

De este modo, la gran improbabilidad de la generación espontánea tropieza con la inmensidad de la superficie terrestre y del tiempo disponible. Costaría hallar una presentación de este punto de vista más elocuente que la del profesor Wald, pero ¿es correcta? Hemos de ponderar el argumento y medir las cantidades implicadas en vez de dejarnos avasallar por ellas.

Para comenzar, no debemos permitir que la mente se nos ofusque por efecto de las grandes cantidades. El matemático Douglas Hofstadter ha escrito sobre esa incapacidad de muchas personas para comprender el valor de los números muy grandes, como los que se manejan al hablar de gastos de defensa o de períodos astronómicos de tiempo. Se pregunta si no «sufriríamos realmente de aturdimiento numérico». ¿No estaremos más aturdidos cuanto mayores son los números? Hofstadter califica esta situación de *anumeralismo*, el equivalente matemático del analfabetismo.

No podremos evaluar el argumento del profesor Wald si pade-

emos semejante cortapisa, pues hemos de comparar algunas cifras grandísimas. Queremos conocer, por un lado, las probabilidades en contra del éxito, y por otro, el número total de ensayos que podemos realizar. Si el número de éstos es muy superior a las probabilidades en contra, las perspectivas son buenas, pero si aquéllas son mayores nuestras posibilidades serán escasas. Para saber qué situación corresponde al caso de la generación espontánea, hemos de estimar ambas cantidades y compararlas.

Para comparar cifras muy grandes, de poco nos servirá el idioma corriente. Un artículo reciente de *National Geographic* describía la energía desprendida por un quásar de la siguiente manera: «Imagínese una gran central nuclear que produzca 1.000 megavatios de electricidad. Multiplique esos 1.000 megavatios por 1.000 millones de billones. Multiplique de nuevo por 10.000 millones.» ¿Cuánta es esa energía? A buen seguro que esa cantidad mantendría Nueva York iluminada durante un rato. ¿Pero es mayor que, por poner un ejemplo, un billón de billones de billones de megavatios? Vamos a necesitar un sistema mejor para la tarea que tenemos por delante.

Los científicos evitan atestar una página de ceros, recurriendo a un sistema llamado notación exponencial: se escribe el número diez junto con un exponente, es decir, una cifra en el lado superior derecho: 10^3 , por ejemplo. Este número se puede convertir en uno corriente, escribiendo simplemente un 1 seguido del número de ceros que indica el exponente. En el caso de 10^3 , lo podríamos escribir 1.000. No es difícil escribir 1.000 de la manera habitual, pero cuando llegamos a cifras grandísimas, el sistema exponencial resulta de gran utilidad. Así pues, es mucho más fácil escribir 10^{18} que 1.000.000.000.000.000.000. A primera vista, no es nada evidente que este último número sea mayor que 100.000.000.000.000.000, pero podemos decir en seguida que 10^{18} es mayor que 10^{17} .

Con esta notación exponencial, resultan manejables períodos de tiempo muy superiores a los que entraña la evolución de la vida. Hace poco, por ejemplo, leí un artículo sobre un hipotético futuro del Universo en el que se barajaban cifras enormes. Todas las estrellas habrían agotado su combustible y cesado de brillar dentro de unos 10^{14} años. Transcurridos 10^{17} años, se habrían perdido todos los planetas tras cuasicolisiones con otras estrellas. Allá por el año 10^{32} , todos los protones se habrían desintegrado, y la materia que nos es familiar habría dejado de existir. Finalmente, por el año 10^{100} , los agujeros negros habrían perdido su masa por evaporación.

Sin embargo, puede plantearse un nuevo problema al tratar con cifras exponenciales. Al estudiar esta posible historia futura, me encontré aceptando que el tiempo necesario para que las estrellas pierdan los planetas sería sólo un 20 % superior al transcurrido hasta que agoten el combustible. Comparé mentalmente los exponentes 14 y 17 como si fueran cifras, no como el número de ceros que sigue a 1. En realidad, 10^{17} es mil veces mayor que 10^{14} . Si consideráramos la historia del Universo en la época en que los planetas desaparecieran, las estrellas habrían brillado durante sólo el primer 0,1 % de esa historia. Habrían estado extintas durante todo el tiempo restante.

Presentaré un nuevo artilugio, la *torre de los números*, que nos ayudará a manejar estas enormes cifras. Lo mismo que el ascensor de magnitudes, esta torre es logarítmica, de modo que en cada nivel las cosas son diez veces mayores que en el inmediato inferior. Sin embargo, la torre de los números es una escalera, no un ascensor. Escogí la palabra «torre» para darle un toque de antigüedad, y también porque evoca la torre de Babel, la que pretendía alcanzar el cielo. La torre de los números, como el ascensor de magnitudes, se prolonga indefinidamente hacia arriba.

Este dispositivo puede servir para llevar la cuenta de cualquier objeto. En un primer ejemplo, escogeremos uno bien familiar, el dinero, en forma de pesetas. Si entrásemos con la imaginación en la planta baja, hallaríamos una sala con el suelo cubierto de pesetas. La provisión es inagotable, pues a medida que las recogemos nos van dispensando más por una abertura de la pared. La única otra cosa que se ve en la sala es una escalera que conduce a la siguiente planta, y un mostrador con un dependiente. El mostrador contiene artículos que se pueden comprar con una a nueve pesetas. Por ejemplo, el dependiente nos puede vender dos aspirinas, unos cuantos mondadientes o un caramelo.

Si queremos artículos más caros, debemos subir al piso superior. Remontamos un tramo de escalera y alcanzamos el primer piso. También aquí hay un mostrador y un dependiente, con artículos cuyo precio va de 10 a 99 pesetas. Pero a este dependiente hay que pagarle en monedas de diez pesetas. Lamentablemente, aquí no se encuentran monedas tiradas por el suelo, pero el dependiente tendrá a bien darnos una moneda de diez por cada diez pesetas que traigamos de abajo. Sin embargo, está prohibido subir más de diez pesetas por cada viaje desde el piso inferior (la esencia del símil no se vería afectada si el número máximo de monedas fuese

distinto). Para comprar un diario que valiera sesenta pesetas, por ejemplo, tendríamos que subir seis veces de la planta baja al primer piso, con diez pesetas en cada viaje.

La cuestión es que, en cada nuevo piso, resulta más difícil y arduo comprar. En el segundo piso se aceptan monedas de 100 pesetas. Sin embargo, para conseguir una tendríamos que subir diez veces de la planta baja al primer piso, al objeto de obtener diez monedas de diez pesetas, y luego llevar esas monedas al segundo para cambiarlas por una de cien. Si deseamos adquirir una botella de buen vino que costara trescientas pesetas, habremos de repetir este proceso dos veces más.

Si dispusiéramos de tiempo y energía ilimitados, podríamos subir a los pisos superiores y adquirir una bicicleta en el quinto, o un automóvil en el séptimo, o una casa en el octavo. De subir más todavía, tendríamos el presupuesto anual de Estados Unidos en el piso decimotercero, y el producto interior bruto de este país en el decimocuarto. Es posible que pudiéramos adquirir toda la Tierra por el número de pesetas necesario para llevarnos al piso decimoséptimo.

La construcción logarítmica de la torre actúa cada vez más ferozmente en contra nuestro, según ganamos más y más pisos. Si deseáramos comprar una casa (piso séptimo) y hubiéramos ahorrado dinero suficiente para alcanzar el sexto, no vaya a creerse que ya casi hemos llegado, a pesar de haber recorrido seis séptimos de la subida. Tendríamos sólo un millón de pesetas y necesitaríamos 9 millones más, de modo que tendríamos que volver a la planta baja y repetir todo el esfuerzo nueve veces más.

Nuestra torre puede operar con artículos distintos del dinero. Los átomos, por ejemplo, son más pertinentes a efectos de este libro. Supóngase que la planta baja está llena de átomos de todas las clases, en cantidades ilimitadas. Si seleccionásemos dos de hidrógeno y uno de oxígeno, podríamos cambiarlos en el mostrador por una molécula de agua. Con nueve átomos (dos carbonos, seis hidrógenos, un oxígeno) podríamos adquirir una molécula de alcohol etílico. Pero en la planta baja sólo se pueden obtener moléculas orgánicas muy simples de menos de 10 átomos.

Para hacernos con los ingredientes de la vida, tendríamos que subir más. En el primer piso (10-99 átomos) tendríamos aminoácidos, nucleótidos y azúcares. La mayoría de las grasas se hallarían en el segundo, mientras que los enzimas y las moléculas de ARN estarían en los pisos tercero y cuarto. Si deseamos obtener la doble

hélice de ADN que compone el cromosoma de una bacteria, hemos de subir al octavo, aunque podemos encontrar un ribosoma un poco más abajo, en el séptimo. La construcción de una bacteria completa exigiría átomos suficientes para llevarnos al piso undécimo, mientras que obtener un ser humano nos supondría un viajecito hasta el piso vigesimoséptimo. De continuar, nos tropezaríamos con la Tierra en el piso 51 y con el Sol en el 57. El Universo quizás estaría en el mostrador del piso 78, pues podría tener 10^{78} átomos.

Ahora estamos en condiciones de manejar las probabilidades de la generación espontánea de una bacteria. Con el empleo de la torre de los números para estimar el número de ensayos en vez del de pesetas o átomos, podremos situar esas cifras de pasmo en el nivel que les corresponde. Para nuestro propósito, sobreestimaremos el número máximo de ensayos al azar que podrían haberse realizado en la Tierra primitiva, pues la cifra real sería de difícilísima determinación.

Hemos de conocer dos detalles: el tiempo necesario para un simple ensayo y el número de los que se pueden realizar simultáneamente. En condiciones óptimas, una colonia de *Escherichia coli* puede duplicarse en unos veinte minutos. En otras palabras, a una bacteria le lleva veinte minutos montar una copia de sí misma a partir de compuestos químicos elementales. Es improbable que llegara a montarse más deprisa por medio de procesos al azar. Así y todo, supongamos que se trata de montar una bacteria mucho más sencilla que *E. coli*, y que estimamos en un minuto el tiempo necesario para un ensayo. Si aceptamos el testimonio de los fósiles y la edad atribuida de ordinario al Sistema Solar, queda disponible para el origen de la Tierra un máximo de 1.000 millones de años, ó 5×10^{14} minutos.

¿Cuánto espacio hay aprovechable? Como estimación máxima, podríamos suponer la Tierra toda cubierta por un océano de 10 km de profundidad, como espacio útil para experimentar. Además, dividiremos ese espacio en diminutos compartimientos (1 micrómetro de lado) de tamaño bacteriano. Tendríamos entonces 5 veces 10^{36} matraces de reacción independientes. Si se hizo un ensayo por minuto en cada matraz, durante 1.000 millones de años, tendríamos un total de 2,5 veces 10^{51} ensayos posibles. Estaríamos en el piso cincuenta y uno de la torre.

Éste es un número descomunal, posiblemente varios pisos por encima de la realidad, pero lo usaremos para proseguir con el argumento. ¿Es suficientemente grande para justificar la posibilidad

de ocurrencia de cualquier acontecimiento? Escéptico disentaría. Algunos acontecimientos improbables se convertirán en probables, dado el número de ensayos, pero no todos. Si recordamos cuando echábamos las diez monedas a un tiempo, era improbable que obtuviéramos diez caras en un primer intento, pues teníamos una probabilidad superior a 1.000 contra nosotros. Sin embargo, el resultado se volvía probable cuando teníamos 1.000 ensayos a nuestra disposición. Como regla aproximada, consideraremos que un suceso se vuelve probable cuando el número de ensayos disponible es del mismo orden de magnitud (cae en el mismo piso de la torre) que las posibilidades en contra en un ensayo aislado. En el caso de la generación espontánea de una bacteria, si estas posibilidades están representadas por un número que cae muy por encima del piso cincuenta y uno, entonces es muy improbable, aunque tengamos un número grande de ensayos a nuestra disposición.

No podemos calcular estas posibilidades con exactitud, mas, para lo que se trata, las aproximaciones nos servirán igualmente bien. Muchos científicos han intentado hacer estos cálculos; con que citemos sólo dos, el punto quedará aclarado. El primero fue Fred Hoyle, cuyas ideas examinaremos en detalle en otro capítulo de este libro. Él y su colega, N. C. Wickramasinghe, apoyaron en un principio la generación espontánea, pero luego cambiaron radicalmente de opinión. ¿Por qué lo hicieron? Está muy claro, calcularon las posibilidades en contra.

En vez de estimar la probabilidad para una bacteria completa, consideraron sólo el conjunto de enzimas funcionales presentes en una. Su punto de partida no fue una mezcla compleja, sino más bien el conjunto de veinte L-aminoácidos que se emplean para construir los enzimas biológicos. Si extrajéramos al azar aminoácidos de este conjunto, todos de una vez, y los dispusiéramos en orden, ¿cuál sería la probabilidad de que este proceso diera lugar a un producto bacteriano auténtico? Para un enzima típico de 200 aminoácidos, dicha probabilidad se obtendría multiplicando la de cada aminoácido, 1 en 20, 200 veces. El resultado, 1 en 10^{120} , nos sitúa en el piso 120 de la torre de los números, muy por encima del piso donde teníamos el número de ensayos.

Sin embargo, no hay que tomarse las cosas tan a la tremenda. Lo que importa es la función del enzima, no el orden exacto de los aminoácidos en su interior; muchas secuencias de aminoácidos podrían suministrar enzimas con la función adecuada. Con esto en mente, Hoyle y Wickramasinghe estimaron que la probabilidad de

obtener al azar un enzima del tipo oportuno era «sólo» de 1 en 10^{20} . Pero consideremos ahora que para formar una bacteria habría que montar unos 20.000 enzimas funcionales distintos. Las posibilidades en contra, para este suceso, serían 1 en 10^{20} multiplicado por sí mismo 20.000 veces, o sea, 1 en $10^{40.000}$. Así pues, este complicado objeto estaría disponible en el piso 40.000 de la torre de los números. Si reparamos en que el número de ensayos nos llevó sólo al piso 51, creo que podemos comprender por qué Hoyle cambió de idea. Su estimación de la probabilidad del suceso fue que era comparable a la de que «un tornado que barriera una chatarrería pudiera montar un Boeing a partir de los materiales que allí hubiera».

En realidad, las cosas son mucho peores. Raro sería que en la Tierra primitiva hubiera a mano un conjunto de veinte aminoácidos tan ordenado, todos en la forma L. Esta situación no ha sido contemplada siquiera en los mejores experimentos Miller-Urey. Tampoco un conjunto de enzimas constituye una bacteria viva. Una estimación más realista es la llevada a cabo por Harold Morowitz, un físico de la Universidad de Yale. Ha calculado las probabilidades en contra para el caso que sigue.

Supóngase que calentáramos a varios miles de grados una gran cantidad de bacterias en un recipiente cerrado, de modo que se rompieran todos los enlaces químicos. Luego enfriamos esta mezcla poco a poco, para permitir que los átomos formen nuevos enlaces, hasta que todo esté en equilibrio. En tal condición, los enlaces químicos más estables (los de mínima energía) dominarán la mezcla, mientras que los de alta energía se presentarán en menor extensión, de común acuerdo con las leyes de la estadística. Morowitz se pregunta: ¿Qué fracción del producto final será bacterias vivas? O, en otras palabras, si se empleara una única bacteria para poner en marcha el experimento (lo que garantiza la presencia de los átomos adecuados, en las cantidades debidas), ¿cuál sería la probabilidad de que al final resultara una bacteria viva?

La respuesta calculada por Morowitz, 1 en $10^{100.000.000.000}$, reduce las posibilidades a una absoluta insignificancia: ¡estamos en el piso cienmilmillonésimo de nuestra torre! Esta cifra es tan grande que escribirla en la forma convencional requeriría varios centenares de miles de libros en blanco. Empezaríamos con un «1» en la primera página del primer libro y lo llenaríamos de ceros, lo mismo que todos los restantes. Si mediante vaya usted a saber qué método inconcebible pudiéramos realizar ensayos suficientes para ascender

hasta el piso 99.999.960.000 de nuestra torre, entonces tendríamos que arrostrar «únicamente» las posibilidades en contra calculadas por Hoyle.

Escéptico querrá reescribir la conclusión del profesor Wald: la improbabilidad es realmente el malo de la película. La improbabilidad que supone producir siquiera una bacteria es tan grande, que reduce todas las consideraciones de tiempo y espacio a la nada. Ante semejantes cifras, ni el tiempo hasta que los agujeros negros se evaporen ni el espacio hasta los confines del Universo cambiarían lo más mínimo las cosas. Si hubiéramos de esperar, sería en verdad esperar un milagro.

Sin embargo, todavía le queda una escapatoria a la generación espontánea. ¿Qué necesidad hay de que el suceso haya sido probable? Podemos simplemente contemplar las posibilidades en contra, encogernos de hombros y felicitarnos por lo afortunados que fuimos.

Después de todo, sucesos improbables se dan a todas horas. Por ejemplo, la probabilidad de ganar en la lotería que citábamos era de 1 en 10 millones. Como hemos observado, tendríamos que comprar un boleto diario durante unos 30.000 años para hacer del éxito un suceso probable. Y sin embargo, a menudo vemos en los diarios que existe un ganador. Esa persona no tiene 30.000 años y, por lo general, ha comprado sólo uno o unos pocos boletos. Simplemente le ha sonreído la fortuna.

Si quisiera, yo podría desencadenar un suceso raro de inmediato. La máquina de escribir que hay en la mesa de mi esposa tiene 45 caracteres. Imagine que los pulso al azar para generar una línea de 72 caracteres. La probabilidad de obtener esta línea en particular (o cualquier otra que pudiera aparecer) es inferior a 1 en 10^{83} : un número sito en el piso 83 de nuestra torre, mayor que el número de átomos del Universo. Sin embargo, lo he intentado una sola vez y ¡hela ahí! Entonces ¿por qué no achacar el origen de la vida a un suceso así, improbable, afortunado, poniendo punto final a este libro y dedicando nuestra atención a otras cuestiones?

De hacerlo así, estaríamos corriendo de nuevo de *home* a la tercera base. Si queremos aplicar la ciencia de una manera coherente para dar sentido al mundo, deberíamos recurrir a explicaciones improbables sólo en el caso de haber agotado las más probables.

Supóngase, por ejemplo, que veo a alguien pasearse caminando sobre el agua de mi piscina. ¿Qué conclusión debería sacar? Existe una probabilidad pequeñísima, pero probabilidad al fin, de

que, en algún punto de la piscina, las moléculas de agua, que por lo general se agitan en todas las direcciones, se muevan en un momento dado todas hacia arriba. La superficie de esta zona podría ser exactamente como el pie del paseante y presentarse justo donde él lo pone, sosteniéndolo. Otras zonas de la piscina podrían comportarse sucesivamente de la misma manera para sostener al caminante hasta que el paseo haya concluido.

Con cierto esfuerzo, quizá pudiera estimarse la probabilidad de este suceso. Sospecho que sería aún menor que la generación espontánea de una bacteria. Sin embargo, mi primera reacción, si fuera testigo de tal acontecimiento, no sería decir: «¡Oh, qué persona tan afortunada!», sino que buscaría algún truco o pararía mientes en el vino que llevara bebido.

Muchos de los acontecimientos descritos en la religión o la mitología y tenidos por milagros podrían acomodarse en el marco de la ciencia como sucesos extraordinariamente improbables. Pero si preferimos una explicación de tal guisa cuando podemos disponer de otra más probable, entonces nos estamos distanciando de la ciencia en favor de la posición religiosa.

Con todo, puede llegar un día en el futuro en el que tengamos que dar por fracasados todos los experimentos químicos razonables llevados a la práctica para descubrir un origen probable de la vida. Además, nuevos indicios geológicos podrían apuntar a una aparición súbita de la vida en la Tierra. Por último, quizás exploremos diversos lugares del Universo sin descubrir en ellos rastro de vida o de procesos que conduzcan a ella. En estas circunstancias, algunos científicos podrían optar por la religión a título de respuesta. Otros, sin embargo, entre los que me incluyo, intentarían apañar las explicaciones científicas menos probables, con la esperanza de encontrar una que fuera más factible que el resto.

Hoy por hoy, estamos muy lejos de esa situación. Todavía están abiertas innumerables posibilidades no milagrosas, y pronto las examinaremos. Pero detengámonos un momento a considerar una última maniobra.

Hay una forma de hacer probable un suceso, por más improbable que sea. Sólo se necesita elegir un modelo de Universo que postule su infinitud. El físico Michael Hart lo ha hecho, y escribe: «En un universo infinito, cualquier suceso que tenga una probabilidad finita —por pequeña que ésta sea— de producirse en un planeta dado acontecerá inevitablemente en alguno.»

De este modo, cualquier cosa puede sobrevenir, sea aquí, sea

allá. Claro, nuestro planeta es un lugar donde se inició la vida.

Es evidente que esta explicación se puede emplear para justificar cualquier suceso. Ayer por la noche, la Tierra no era quizá más que un montón revuelto de compuestos químicos. De repente, nosotros, nuestra memoria, nuestras pertenencias, nuestra civilización, todo fue creado por una fluctuación aleatoria. Este suceso también tendría cabida en un universo infinito.

El argumento anterior no se aguantará si todos los indicios señalan que el Universo es decididamente finito. Pero, aun a falta de tales indicios, el argumento es inútil: no se puede poner a prueba y con él no vamos a ninguna parte. Mejor será continuar y buscar alternativas más satisfactorias.

Si rechazamos la idea de que la vida empezó con la generación espontánea de una bacteria, o de un organismo de complejidad equiparable, debemos suponer que el primer ser vivo fue una entidad mucho más simple. Nos encaramos entonces con una cuestión formidable: ¿Cuál fue la naturaleza de esa entidad?

VI. LA GALLINA O EL HUEVO

Imagine que es usted capitán de un velero que se hunde lentamente en medio de una tormenta. Tendrá que aligerarlo si ha de permanecer a flote. Por desgracia, todo lo manifiestamente arrojable ya ha sido tirado por la borda. ¿Qué sacrificaría usted: la vela, las provisiones, la radio, el equipo de señalización o quizás a uno de los pasajeros? Es una decisión difícil.

Parejo dilema afronta el bioquímico que estudia el origen de la vida. Como ya hemos visto, los organismos más simples conocidos son demasiado complejos para formarse espontáneamente. El hipotético antepasado común —un organismo que reuniría las características compartidas por las células vivas actuales— también sería demasiado complejo. El primer organismo fue mucho más simple.

Para hacer de ese antepasado común el organismo originario, ¿qué se debería sacrificar: la membrana celular, el sistema generador de energía, el sistema genético o los catalizadores vitales? No es de extrañar que exista una fuerte controversia al respecto. A pesar de todo, se acepta que hay una cosa de la que no se puede prescindir. Así como el capitán ha de preservar el casco de su barco, el bioquímico tiene que mantener algún sistema en el organismo que le permita evolucionar y generar vida más compleja.

La mayoría de los bioquímicos están dispuestos a deshacerse del sistema generador de energía y a confiar en la benevolencia de la sopa prebiótica. Esta sopa está llamada a realizar las funciones de una madre mamífera moderna: no sólo ha de montar un organismo vivo en su seno, sino que tiene que alimentarlo después de darle a luz. Los compuestos químicos de la sopa habrían servido de comida a los primeros organismos, proveyendo la energía y las sustancias necesarias para su posterior crecimiento.

La mayoría de los bioquímicos consienten también en privarse de la membrana celular, o en hacer de su adquisición un acontecimiento secundario en el desarrollo de la vida. Si prescindimos de las puertas proteínicas, la membrana se convierte simplemente en una barrera que aísla la célula viva del medio ambiente. Se pueden poner límites a las células de muchas maneras, y tales límites no tienen por qué ser estructuras complejas.

Quizá recuerde usted que Carl Woese proponía como compartimientos celulares las gotitas de una nube. Una espuma de burbujas o el interior de un mineral brindan también compartimientos naturales. Ciertas clases de compuestos orgánicos, por lo general de elevado peso molecular, pueden agregarse en una disolución acuosa y formar minúsculas gotitas. Diversos compuestos, y no sólo las grasas, pueden mostrar este comportamiento. Tales estructuras han recibido el nombre de coacervados, y fueron estudiadas extensamente por Alexander Oparin y otros. En un capítulo posterior encontraremos otro tipo de compartimiento primitivo: las microesferas de proteína. La formación de compartimientos no es una empresa difícil, y este proceso no fue probablemente el más crítico en el origen de la vida.

Cuando las grasas y los hidratos de carbono han sido arrojados por la borda, nos quedan las proteínas y los ácidos nucleicos como candidatos a ingredientes del primer organismo. A algunos pensadores más prudentes les gustaría conservar ambos, pero entonces el barco se hundiría irremisiblemente. Unas y otros son moléculas complejas, que han de tener un tamaño considerable para funcionar de manera adecuada. Veremos que es difícil justificar la aparición de cualquiera de estas moléculas por generación espontánea en la Tierra primitiva. Si ambas son necesarias, nos hundimos en el mar de la improbabilidad.

La mayor parte de los investigadores de este campo están dispuestos a afrontar tan dolorosa elección. Como se afirma en el texto de bioquímica de A. L. Lehninger: «¿Quién tuvo primacía en el origen de la vida, las proteínas o los ácidos nucleicos?»

Por supuesto, los ácidos nucleicos son el material hereditario. Contienen el proyecto original del organismo, que pasa de las células paternas a las hijas. El ADN se duplica durante la reproducción para proveer una copia a cada hija. El diseño del ADN, con sus dos cadenas complementarias, lo hace posible.

Sin embargo, el ADN no se puede duplicar por sí solo, pues precisa la ayuda de las proteínas a lo largo del proceso. Además,

ni el ADN ni el otro ácido nucleico, el ARN, tienen gran capacidad catalítica. A diferencia de las proteínas, no pueden hacer que las cosas ocurran. Francis Crick lo resumió muy bien en *Life itself*: «El ARN y el ADN son las rubias estúpidas del mundo biomolecular, muy a propósito para la reproducción (con un poco de ayuda de las proteínas) y bastante inútiles para casi todo lo que realmente exige trabajo.»

Cualquier insinuación en el sentido de que el ADN y el ARN pueden hacer algún trabajo es recibida con ilusión por quienes apoyan la primacía de los ácidos nucleicos. A últimos de 1982, por ejemplo, Thomas R. Cech, químico de la Colorado State University, y sus colaboradores informaban de que ciertas moléculas de ARN podían autoorganizarse, es decir, podían redistribuir sus enlaces de modo que unos tramos se separaban y otros se reunían. Esta redistribución era acelerada por los enzimas, pero también se desarrollaba a ritmo lento cuando no había enzimas presentes.

La revista *Science* daba la noticia bajo el titular «El ARN puede ser un catalizador», y señalaba que esto podía haber tenido importancia para el origen de la vida. Pero el anuncio fue precipitado, pues la palabra «catalizador» tiene un significado diferente: describe a aquellas sustancias que modifican otras moléculas, permaneciendo ellas invariables. Posteriormente, otros investigadores demostraron que una molécula de ARN también puede facilitar la reorganización o el empalme de otra a la manera catalítica.

Los efectos demostrados hasta ahora atestiguan la versatilidad del ARN como material genético, si bien no justifican el control de otras clases de moléculas que tan valioso habría sido en los primeros tiempos de la vida. Dicho control pudo haber entrado en escena en un momento posterior de la evolución, cuando se estableció la asociación entre el ADN y el ARN. Como ya vimos, el ADN de los organismos superiores guarda mensajes de más («cuñas comerciales») que pasan al ARN, pero que deben ser retirados antes de emplear la información para construir proteínas. La capacidad de las moléculas de ARN para empalmarse sin ayuda ajena habla de lo aptas que son para esta función particular; sin embargo, poco dice sobre si los ácidos nucleicos tuvieron primacía en el origen de la vida.

Las proteínas pueden hacer que ocurran realmente cosas en la célula, pero no sabemos de ningún mecanismo que les permita hacer copias de sí mismas. Al igual que los mulos, pueden trabajar mucho, pero son estériles. Si priváramos una célula de su ADN,

funcionaría por un tiempo. Los cilios ondularían, los ribosomas fabricarían proteínas y los azúcares serían convertidos en sustancias más simples, desprendiendo energía. No obstante, transcurrido un tiempo, todo se detendría. La célula moriría sin dejar descendientes.

En una célula viva, los genes y los enzimas van de la mano, son dos sistemas engranados que se apoyan mutuamente. Cuesta imaginar cómo se las arreglarían cada uno por su cuenta. Pero, si hemos de evitar toda invocación a un creador o a una improbabilidad desmesurada, debemos aceptar que uno se presentó antes que el otro en el origen de la vida. ¿Pero cuál? Hemos aquí ante el viejo acertijo: ¿Qué fue primero, el huevo o la gallina? ¿Las proteínas o los ácidos nucleicos?

En la versión bioquímica, la pregunta es nueva: no se remonta más allá de Watson y Crick y de nuestro conocimiento de la estructura y la función del gen. Sin embargo, en lo sustancial, la cuestión es mucho más antigua, y ha desatado apasionamiento y acritud allende las fronteras de la ciencia. En una primera versión, más general, el interrogante giraba en torno a si fue el gen o el protoplasma quien tuvo primacía, no sólo en el origen, sino también en el desarrollo de la vida. En el fondo, cabe ampliarla más y plantearse quién es más potente a la hora de modelar los seres vivos, si la herencia o el medio ambiente.

Entraremos en esta discusión analizando un artículo publicado en 1966 por el premio Nobel Hermann J. Muller (1890-1967) en el *American Naturalist*, que resume sus puntos de vista sobre el origen de la vida. Muller fue un científico norteamericano que descubrió que los rayos X pueden producir mutaciones. Fue de los primeros en advertir al público de los efectos adversos de la radiación para la salud, así como un declarado partidario de la mejora de la especie humana mediante eugenesia voluntaria. En definitiva, fue uno de los fundadores de la genética moderna.

No sorprenderá que Muller fuera un paladín de la primacía del material genético en el origen de la vida. Propuso esta idea a finales de los años veinte, inspirándose en una teoría anterior de L. T. Troland. La teoría de Troland sostenía que los enzimas y los genes eran una misma sustancia (esto fue mucho antes de Watson y Crick), y que ésta, catalizando su propia reproducción, era el principal compuesto químico de la vida. Muller comprendió que las funciones se podían separar, y concedió más importancia al gen. Remitámonos textualmente a su artículo de 1966:

Las secuencias específicas del ADN determinan las de las proteínas, y los cambios en aquéllas se traducen en los correspondientes cambios de estas últimas, mientras que la relación inversa no se da, como tampoco se da, en general, que otros caracteres adquiridos sean hereditarios. Sin duda alguna, esta circunstancia confiere primacía al material génico [...]. Cabe parafrasear la «desnuda» definición de ser vivo dada aquí: *aquel que posee el potencial de evolucionar por selección natural* [...]. El material génico también posee esta facultad, y, por consiguiente, ello legitima que lo consideremos material vivo, el representante actual de la primera vida [...]. Las condiciones primitivas le brindaron suficientes medios para desarrollar un protoplasma que le sirviera [...]. Así pues, el material génico es quien tiene las propiedades de la vida.

Las opiniones de Muller no carecen hoy día de defensores, entre otros el astrónomo Carl Sagan. A principios de los años cincuenta, Sagan estudiaba en la Universidad de Chicago y pasó un verano en el laboratorio de Muller en Indiana. Posteriormente, ya como graduado, publicó un artículo que reflejaba puntos de vista similares a los de Muller:

El diseño del organismo está encaminado simplemente a la multiplicación y supervivencia de los genes [...]. Ahora bien, la idea que hemos expuesto de la molécula de proto-ADN asociada con una proteína sugiere claramente la existencia de un primitivo gen desnudo, de vida libre, situado en un medio de materia orgánica diluida [...]. No existía protoplasma *per se* para el gen desnudo [...]. Con el tiempo, al gen desnudo le resultó de mayor valor adaptativo controlar el medio ambiente y dejó de estar desnudo.

Sagan ha seguido defendiendo esta posición a lo largo de su excepcional carrera como autor de libros de astronomía y ciencia en general. En su serie de televisión, *Cosmos*, así como en la obra escrita del mismo título, Sagan situaba el origen de la vida en la formación de la primera molécula autorreplicante, considerada como «el antecesor más remoto del ADN, la molécula fundamental de la vida en la Tierra».

La nominación de un ácido nucleico para el título de primera entidad viva está en consecuencia con otros avances de los últimos treinta años que hacen de los ácidos nucleicos las sustancias más célebres de la ciencia, y las «niñas bonitas» de los medios de comunicación. Las aventuras del ADN van mucho más allá de la ciencia y llegan a la industria, la política y la ética.

Por ejemplo, casi a diario nos llegan noticias de las hazañas del ADN recombinante. Se han desarrollado técnicas que permiten que fragmentos del ADN de una especie se inserten en el de otra, sin perder funcionalidad. Así, las bacterias han aceptado genes para la producción de las cadenas de aminoácidos de la insulina humana. Estos genes no se prepararon en células humanas, sino en un laboratorio. Las bacterias modificadas, puestas a trabajar, producen insulina a escala industrial. En 1982, la Food and Drug Administration de Estados Unidos daba el visto bueno a la comercialización de este producto, al que seguirán otros muchos.

A medida que progresó el desarrollo de estas técnicas, se despertaron los temores públicos ante sus peligrosas expectativas. Por ejemplo, preocupaba que una bacteria modificada, portadora de un gen inductor de cáncer, pudiera escapar y producir una epidemia. Y se declaró un compás de espera para ciertos experimentos mientras no se pudieran garantizar medidas de seguridad eficaces.

Con la experiencia y el paso del tiempo, esos temores se han apaciguado. Pero la calma puede hacerse añicos en un santiamén con los nuevos avances. Ahora se pueden preparar secuencias de ADN originales mediante síntesis en el laboratorio («genes de diseñador»). A la larga, no faltarán propuestas para rediseñar nuestros genes, con lo que se levantará una nueva ola de controversia. Escribo estas palabras inmediatamente después de hacerse público el manifiesto de un grupo de clérigos que se oponen al empleo de estos métodos para alterar la herencia humana. El tema, desde luego, es de los dignos de controversia: el futuro biológico de la raza humana.

El ADN puede emigrar dentro de la célula tanto en circunstancias naturales como artificiales. Los segmentos de ADN que pueden trasladarse de un lugar a otro han recibido el nombre de «genes saltadores». Las migraciones de material genético entre el núcleo, las mitocondrias y los cloroplastos han conducido al término de «ADN promiscuo». El comportamiento de esta traviesa molécula en otras circunstancias ha merecido calificativos adicionales: ADN esquelético, ADN parásito, ADN muerto, ADN ignorante, ADN egoísta.

Este último término fue aplicado por Francis Crick y Leslie Orgel a ciertas secuencias de ADN que no tienen función de por sí, pero que se han entrometido en las secuencias operativas de tal modo que a la célula le resulta demasiado caro (en energía) el extraerlas, y por tanto se perpetúan como un parásito molecular en el ADN útil.

Richard Dawkins, en *El gen egoísta**, ha aplicado asimismo el término egoísta al ADN en un sentido más general. Atribuye a éste un papel estelar en el desarrollo de la vida; lo demás funciona meramente como un medio de garantizar la supervivencia y la propagación del ADN. Desde esta perspectiva, el cuerpo del elefante no es más que una elaborada máquina ideada por el ADN elefantino para asegurar su propia perpetuación.

La elevación de los ácidos nucleicos a su actual posición de preeminencia y poder representa un auténtico caso a lo Horacio Alger, la clásica historia a escala molecular del pobre que llega a rico. Sus orígenes fueron verdaderamente humildes.

Se aisló por vez primera un ácido nucleico en el laboratorio de un químico suizo, Friedrich Miescher, en 1869. La fuente era bastante repugnante: vendajes quirúrgicos. El descubrimiento fue acogido con escepticismo; el mentor de Miescher, E. F. Hoppe-Seyler, insistió en repetir personalmente el análisis antes de dar su conformidad para que se publicaran los resultados.

El anonimato durante toda su vida y bastante después de su muerte fue la recompensa que obtuvo Miescher por su hazaña. Con ocasión del centenario del descubrimiento de Miescher, en 1969, el bioquímico Erwin Chargaff escribía:

Me gustaría empezar este ensayo con un personaje de los que han pasado sin hacer ruido, Friedrich Miescher, quien hace cien años, en 1869, descubría los ácidos nucleicos en algún lugar entre Tübingen y Basel. Como era de esperar, en su época nadie prestó ninguna atención a este descubrimiento. Todavía no estaba en marcha esa gigantesca maquinaria publicitaria que hoy día acompaña con enorme fanfarria incluso el más mínimo movimiento en el tablero de ajedrez de la naturaleza. Hubieron de pasar setenta y cinco años antes de que se empezara a apreciar la importancia del descubrimiento de Miescher. El propio Miescher —y esto se desprende claramente de su correspondencia y del tono de sus concisos artículos— sí que era consciente de la importancia de sus observaciones. No consiguió, sin embargo, causar mucha impresión en su época; cuán poco eco tuvo quizá pueda deducirse del hecho de que, aun hoy día, la mejor historia de las ciencias naturales (publicada en 1961), en el volumen dedicado al siglo XIX cite el nombre de Darwin 31 veces, el de Huxley 14, y ni una sola vez el de Miescher. Hay personas que parecen haber nacido para pasar desapercibidas.

* Publicado también en esta misma colección.

Irónicamente, el propio Chargaff había hecho al comienzo de su carrera un descubrimiento fundamental, pero infravalorado, acerca de la composición del ADN, que resultó crucial para la teoría de Crick y Watson.

Los ácidos nucleicos, como su descubridor, permanecieron en una relativa oscuridad hasta mucho después de 1869. Aunque se sabía que estaban presentes en el núcleo celular, no estaba clara su función. La mayoría de los bioquímicos se inclinaban a creer que, si existía un compuesto químico portador de los caracteres hereditarios, lo más probable es que fuera una proteína. Así y todo, hace más de medio siglo que un reducido número de heroicos químicos se entregó de lleno a la tarea de determinar la estructura de los ácidos nucleicos.

Los califico de heroicos porque las propiedades de los ácidos nucleicos son odiosas para determinar su estructura en comparación con otros compuestos químicos de semejante complejidad. Los ácidos nucleicos no se destilan, no forman cristales, y tampoco se disuelven en los disolventes al uso, como el benceno. Trabajar con ellos requirió el empleo de técnicas laboriosas e indirectas.

Sin embargo, el obsesivo empeño de los químicos devengó finalmente buenos dividendos; en los años cuarenta y comienzos de los cincuenta, Alexander Todd y sus colaboradores en la Universidad de Cambridge daban los toques finales a los fundamentos de la química de los ácidos nucleicos. El momento y el lugar estaban bien elegidos: Crick y Watson tenían el escenario a punto.

Tiempo antes se habían percibido indicios de la futura importancia del ADN. En 1944, Oswald Avery, junto con sus colegas Colin McLeod y Maclyn McCarty, publicaban un resultado inesperado. Cabía alterar la herencia de ciertas bacterias afines. Este experimento, que tuvo poca repercusión inmediata, terminó por dejar una huella profunda. Por esa época se identificaban los virus como entidades infectivas, compuestas únicamente de ácido nucleico y proteína. Alfred N. Hershey y Martha Chase demostraban, en 1952, que era el ADN, y no la proteína, el portador de la información de la herencia.

La estructura en doble hélice se publicó en 1953; una década después se descifraba el código genético, y la era del ADN recombinante comenzó a principios de los años setenta. Desde entonces se han descubierto otros muchos detalles de la función de los ácidos nucleicos y las proteínas, de modo que actualmente sabemos mucho de la base química de la herencia.

Sin embargo, estos espectaculares avances no fueron bien acogidos en todas partes; en particular, tuvieron una recepción bastante desagradable en la Unión Soviética. Con este tema volvemos a la controversia gen-protoplasma y al problema del origen de la vida. Una vez más citaremos el artículo de H. J. Muller publicado en 1966 en el *American Naturalist*:

Es un anacronismo curioso [...] el hecho de que, aun hoy día, algunos de los biólogos y bioquímicos más eminentes que realizan trabajos muy valiosos en sus respectivos campos se adhieran a este punto de vista y a su corolario sobre el origen de la vida. Desgraciadamente, dicha opinión ha recibido mucha publicidad y ha sido muy elaborada —empezando en los años treinta con el lysenkiano Oparin en su libro *El origen de la vida*— como parte de un intento de quitar importancia a la genética. Su participación [la de Oparin] en tal intento fue muy sutil.

Ya nos hemos cruzado con Oparin en páginas anteriores (y nos lo volveremos a encontrar), pero no con Lysenko. Además, la profunda antipatía de la declaración precedente trasciende el desacuerdo puramente científico y racional. Para entender mejor todo este asunto, hemos de conocer más a fondo la vida de H. J. Muller.

Neoyorquino de cuna, nació en 1890 y obtuvo los títulos de licenciado y graduado en la Universidad de Columbia. Mientras estuvo allí, participó en la investigación desarrollada por el grupo encabezado por Thomas Hunt Morgan. Trabajaban con la mosca de la fruta *Drosophila*, que resultó ser un vehículo ideal para explorar los principios básicos de la genética. Las primeras investigaciones del mecanismo de la herencia las había realizado un monje austriaco, Gregor Mendel, cuarenta años antes, pero luego cayeron en el olvido. Tras el redescubrimiento de Mendel, el grupo de Morgan llevó a cabo los sobresalientes estudios que identificaron la función de los genes y los cromosomas.

El propio Muller realizó su valiosísima aportación mientras estuvo en la Universidad de Texas, entre 1920 y 1932. Durante ese período, descubrió los efectos mutágenos de los rayos X. Fue elegido miembro de la Academia Nacional de Ciencias de EE.UU. en 1931. Sin embargo, tuvo conflictos con sus colegas; y a eso hay que añadir un fracaso matrimonial y una creciente insatisfacción por las condiciones sociales de Estados Unidos, en particular durante la depresión. Su ideología, de recio cariz socialista, le llevó finalmente a dejar este país.

Muller se trasladó en 1932 al Instituto Kaiser Guillermo de Berlín, justo para ver cómo Hitler se hacía con el poder. Recibió entonces una invitación del celebrado genetista soviético Nikolai I. Vavilov para ocupar la dirección de un laboratorio de genética en la URSS. Muller aceptó, pero la alegría que pudo sentir por la unión de sus intereses científicos y sus convicciones políticas fue bien efímera, pues por entonces Trofim D. Lysenko tomó el poder de la biología soviética.

Lysenko era esencialmente un reformador agrícola que defendía las ideas de un inculto criador de árboles frutales, Ivan V. Michurin. En resumen, Lysenko creía en la herencia de los caracteres adquiridos y negaba la importancia —e incluso la existencia— de los genes y los cromosomas como unidades de la herencia. Según cita el relato del disidente soviético Zhores A. Medvedev, Lysenko afirmaba: «La base de la herencia no radica en ninguna sustancia autorreproductora especial. La base de la herencia es la célula, que se desarrolla y convierte en un organismo. En esta célula, los diferentes orgánulos tienen un significado distinto, pero no existe un solo fragmento que no esté sujeto al desarrollo evolutivo.»

Esta versión lysenkiana de la herencia, que recibió el nombre de michurinismo, chocaba frontalmente con la perspectiva mendelomorganiana del gen, que era tenuta por ciencia burguesa y metafísica. Estas conclusiones no se desprendían de una cuidadosa ponderación de los testimonios experimentales, sino más bien de la visión que tenía Lysenko de las necesidades ideológicas del Estado.

Las ideas michurinistas cayeron en gracia en la URSS, porque armonizaban bien con la teoría filosófica predominante del comunismo: el materialismo dialéctico. El principal caballo de batalla de esta filosofía es el desarrollo de las sociedades, las fuerzas históricas, la lucha de clases y otros asuntos que no tienen por qué ocuparnos aquí. Friedrich Engels, uno de los dos padres novecentistas del socialismo (Karl Marx fue el otro), había mostrado tanto interés por el desarrollo de la vida como por la evolución de las sociedades. Engels había escrito: «La vida es el modo de existencia de las sustancias albuminoideas, y este modo de existencia consiste esencialmente en la autorrenovación constante de los constituyentes químicos de estas sustancias mediante nutrición y excreción.» El término «albuminoidea», en su sentido más general, alude simplemente a las proteínas solubles en agua. Una forma notable es la ovoalbúmina, una sustancia de la clara de huevo que sirve de nutriente al embrión de pollo en desarrollo.

Sea como fuere, Engels creía que la vida y la humanidad eran el resultado de una evolución continua de la materia, y el origen de la vida sólo un peldaño en la larga escalera del desarrollo. En un nivel mucho más alto, el mismo proceso evolutivo llevaría a las sociedades al socialismo.

Una extensión plausible de estos conceptos era la idea de que el medio ambiente modela la herencia. E. A. Carlson, biógrafo de Muller, precisó claramente la relación. El Estado socialista había introducido cambios radicales en la alfabetización, el empleo y otras áreas sociales. ¿Por qué no habría de poder influir en los males hereditarios, como el retraso mental y otras enfermedades? Parecía razonable suponer que se podría producir un tipo humano superior por medio de un ambiente mejorado.

De este modo, el desarrollo inevitable de la vida se convertía en un tema de la filosofía marxista. El materialismo dialéctico rechazó por igual el idealismo (nombre de la escuela filosófica que hace hincapié en la función de los valores espirituales en la existencia) y el mecanicismo. Se aplicó este último término a toda creencia en la generación espontánea, en la participación del azar en el origen y desarrollo de la vida, o en la idea de que las propiedades superiores de la materia se podían deducir directamente a partir de las leyes básicas de la física y la química. El materialismo dialéctico sostenía que entraban en juego nuevas leyes —biológicas, sociales o lo que fueran— a medida que la materia alcanzaba cotas superiores de desarrollo.

El principal interés del grupo de Lysenko no se centraba en las cuestiones bioquímicas, sino simplemente en la mejora de los métodos agrícolas. Creían que el remojo de las semillas («vernalización») podía convertir el trigo de invierno en trigo de primavera, y que con métodos similares se podían transmutar otras especies. Tenían la esperanza de que su nueva biología revolucionara la agricultura. A la postre, fracasaron porque sus métodos no funcionaban, así de sencillo. Pero en el intento aniquilaron la genética soviética durante una generación, en una campaña que produjo «treinta y cinco años de brutal irracionalidad» (según el especialista soviético David Joravsky).

H. J. Muller se encontró con que había instalado su laboratorio en plena trayectoria de esta oleada de estupidez. Él y sus colegas eran defensores de la teoría del gen. El nombre de su primer mentor, Morgan, se había convertido en sinónimo de decadencia burguesa. En 1934, antes de que la nueva ideología tomara cuerpo,

Muller intentó relacionar la teoría cromosómica con el materialismo dialéctico (de lo cual se retractó *a posteriori*). La cosa no funcionó.

Personalmente, Muller consideraba que Lysenko era un farsante y un bandido. En una conferencia celebrada en la Unión Soviética en 1936, defendió la teoría del gen y se opuso al punto de vista de Lysenko. Advirtió que las ideas de éste derivaban en último término de las del filósofo francés Jean Baptiste de Lamarck. La teoría de la herencia de los caracteres adquiridos, el lamarquismo, había caído en descrédito merced a diversos estudios experimentales. Por ejemplo, August Weismann —un biólogo alemán del siglo XIX— había amputado la cola a centenares de ratones durante cinco generaciones, con el resultado de que toda la progenie desarrolló colas normales, ni siquiera más cortas.

Además de señalar la relación de las ideas lysenkianas con las de Lamarck, Muller afirmó que las opiniones de Lysenko eran una base lógica para el racismo y el fascismo. Esto arrancó el aplauso de los delegados universitarios, pero, claro está, no mereció la aprobación de los atacados. Con el paso del tiempo, Muller y sus colaboradores fueron objeto de un hostigamiento creciente. Finalmente, Muller tuvo que dejar la Unión Soviética. Participó como voluntario en la guerra civil española, y sólo volvió a Moscú para hacer las maletas. Anduvo de nómada universitario por un tiempo, hasta que finalmente consiguió un puesto en la Universidad de Indiana, en 1945. Al año siguiente era galardonado con el premio Nobel.

El valedor y amigo soviético de Muller, Vavilov, tuvo un destino menos grato. Se convirtió en líder del grupo de oposición a Lysenko. En 1940 fue detenido y condenado a prisión. Según Medvedev, Vavilov sufrió malos tratos en la cárcel y murió en Siberia.

Lysenko no llegó a la cima de su poder hasta 1948, tras una reunión en la que cinco genetistas que se le habían opuesto se retractaron y cambiaron de opinión. En palabras de Medvedev, los partidarios de Lysenko «se apropiaron vorazmente de grados, empleos, títulos científicos, premios, salarios, medallas, órdenes, tratamientos honoríficos, apartamentos, casas de veraneo y automóviles particulares. No se conformaron precisamente con la munificencia de la naturaleza.»

Muller había guardado silencio desde que dejara la URSS, para no poner en peligro a los colegas y compañeros que quedaron allí. Pero en 1948 dimitió como miembro de la Academia de Ciencias de la URSS y denunció el lysenkismo. La Academia anunció sin

pesar la marcha «del que fuera uno de sus miembros, que traicionó los intereses de la verdadera ciencia y se pasó abiertamente al campo de los enemigos del progreso y la ciencia, de la paz y la democracia».

Como ya hemos visto, el período que siguió a la Segunda Guerra Mundial fue la época de la ascensión de la biología molecular. Sin embargo, la estrella de Lysenko refulgió y se apagó con los avatares políticos, no con los científicos. Uno de los puntales de su poder era el apoyo de Josef Stalin. A la muerte de éste, en 1953, Lysenko recibió duros ataques, y en 1955 se vio obligado a dimitir de ciertos cargos. Pero cobró nuevos bríos con la subida de Nikita Krushchov al poder, y sólo perdió influencia tras el extrañamiento del dirigente soviético en 1964.

Durante el último período de poder del grupo de Lysenko, la retórica usada en defensa de sus puntos de vista científicos cobró el mismo tono que, por lo general, acompaña las declaraciones políticas soviéticas. Para elegir ejemplos, recurriremos nuevamente a Zhores Medvedev. Podemos empezar con una referencia a Olga Lepshinskaia, bióloga celular cuyo trabajo sobre la generación espontánea citaremos dentro de unas pocas páginas. En 1951, Lepshinskaia escribía lo siguiente:

En nuestro país ya no hay clases sociales hostiles entre sí. Sin embargo, la lucha de los idealistas contra los materialistas dialécticos tiene todavía el carácter de una lucha de clases. Y, en realidad, los seguidores de Virchow, Weismann, Mendel y Morgan, al hablar de la inmutabilidad del gen y negar el efecto del medio ambiente, se convierten en portavoces de las ideas pseudocientíficas de los eugenistas burgueses y de las diversas desviaciones de la genética que proveen fundamento a la teoría racista del fascismo en los países capitalistas. La Segunda Guerra Mundial fue desencadenada por fuerzas imperialistas en cuyo arsenal se incluía también el racismo.

Ya conocemos a Weismann, Mendel y Morgan. Rudolf Virchow fue un patólogo del siglo XIX que estudió las enfermedades a escala celular, y no sé a ciencia cierta qué logro particular le llevó a encabezar la lista anterior.

Los progresos de la genética que siguieron a la teoría de Crick y Watson no modificaron las opiniones de Lysenko y sus partidarios. Citaremos como ejemplo un artículo de N. M. Sisakhan publicado en 1954, y posterior por tanto a las publicaciones de Crick y Watson.

En el pasado, para explicar el hipermaterialismo de los fenómenos vivos, el vitalismo propuso el concepto de entelequia o fuerza vital. Su versión actual, bajo la capa del morganismo, recurre a genes, códigos y moldes para no perder su faz científica. Pero, como sabemos, el cambio de terminología no modifica la sustancia. Y, en sustancia, entelequia, moléculas moldeadoras, fuerza vital y genoma son sinónimos. Sean cuales fueren las estratagemas que empleen los morganistas, no pueden negar que su único propósito al hacer juegos malabares con la nueva terminología es ocultar la esencia idealista de su doctrina y cubrir ese patente idealismo con una salsa científica.

En 1962, a medida que se iban descifrando los detalles del código genético, un artículo de K. Y. Kostrinkova recogía la siguiente afirmación: «La hipotética conexión de las abstracciones huera [de la teoría del gen] con substratos específicos —cromosomas y ADN— tenidos por “vectores materiales de la herencia” no dota de contenido material a dichas abstracciones, del mismo modo que la deificación supersticiosa de los objetos no vuelve materialista la superstición.» En 1963, el propio Lysenko seguía empeñado en negar la existencia de una sustancia hereditaria o la función del ADN en la herencia.

Declaraciones de esta índole no se acompañaban de una crítica científica de las teorías que combatían. Nada de análisis detallados de experimentos concretos, nada de referencias a defectos metodológicos o lógicos. Para colmo, no realizaban investigaciones bioquímicas comparables que llevaran a conclusiones opuestas. En palabras de Medvedev: «La actividad básica de los seguidores de Lysenko en el campo teórico estriba en la desinformación y la crítica, y, como antes, consideran que su principal servicio es la lucha contra sus oponentes.» En todas sus críticas tachaban las opiniones de los contrarios de superstición, o, en otras palabras, de falsa religión. Por su parte, basaban sus puntos de vista sobre la herencia en los principios del materialismo dialéctico, que provenía de las ideas de Engels y Marx. En resumen, ellos detentaban la religión verdadera.

El paralelismo con la controversia creacionista, que examinaremos en el próximo capítulo, es muy estrecho. En uno y otro caso, un gran conjunto de datos científicos perfectamente documentados y las conclusiones que se desprenden de ellos se ven desautorizados bajo el calificativo de religión. Los adversarios de estas conclusiones tienen pocos o ningún dato válido, pues sus opiniones proceden esencialmente de la religión o el mito. A pesar de todo, pre-

fieren reservarse el término «ciencia» para ellos. Una diferencia importante entre los dos casos es que los lysenkistas contaban con el pleno apoyo de un Estado totalitario.

A la caída de Lysenko, la genética soviética se recuperó gradualmente y se reincorporó al mundo moderno, si bien el propio Lysenko retuvo sus títulos y fue muy libre de abogar por sus opiniones hasta su muerte en 1976. Sin embargo, a partir de 1964 se pudo pronunciar otra vez el nombre de Mendel con respeto. Hacia 1969, el genetista N. P. Dubinin describía las mutaciones en función de los principios dialécticos. Así, la metodología se pudo adaptar a las cambiantes circunstancias.

En un artículo aparecido en *Nature* en 1983, un vicepresidente de la Academia de Ciencias Soviética hacía una valoración positiva de la biotecnología soviética. En una década, los científicos de la URSS se han dado cuenta de las posibilidades de las nuevas técnicas y las han utilizado para producir insulina y hormona del crecimiento humana en bacterias modificadas. Un objetivo prioritario era la manipulación de los genes de las plantas para incrementar la producción de alimentos.

Es irónico que las mismas metas de Lysenko —la conversión de especies y el mejoramiento de la producción agrícola— se hayan podido abordar mejor con los métodos del campo que él desdeñaba y que a su juicio contradecía el dogma socialista. A la larga, estos métodos pueden incluso resultar aplicables al ideal socialista por excelencia: el perfeccionamiento de la propia humanidad.

Con todo esto, nos hemos alejado del tema del origen de la vida, y es momento de volver a él. En particular, deseamos conocer la carrera de Alexander I. Oparin (1894-1980), que vivió todos esos tiempos difíciles en la Unión Soviética.

Oparin fue un contribuyente clave para el paradigma moderno del origen de la vida. Hemos considerado algunas de sus ideas en relación con la hipótesis Oparin-Haldane y la función de los coacervados. En una necrológica publicada en *Transaction in Biological Sciences*, se le calificaba de «líder reconocido de la comunidad internacional de científicos que estudia el origen de la vida». Fue el primer presidente de la Sociedad Internacional para el Estudio del Origen de la Vida. También fue honrado en su país: durante muchos años fue director del Instituto de Bioquímica de la Academia de las Ciencias de la URSS, recibió la orden de Lenin, fue nombrado Héroe del Trabajo Socialista y recibió otras distinciones. Aunque no hablaba inglés, causó buena impresión en sus visitas al extran-

jero; la necrológica mencionada con anterioridad prestaba tributo a su cordialidad con los colegas extranjeros y a su extraordinaria hospitalidad.

Las opiniones de Oparin sobre el origen de la vida vieron la luz en una conferencia ante la Sociedad Botánica de Moscú, en 1922, y aparecieron publicadas en 1924. Tuvieron poca resonancia por entonces. John B. S. Haldane desconocía el trabajo de Oparin y publicó ideas similares en 1929. En una reunión celebrada en 1963, Haldane reconoció cortésmente la prioridad de Oparin: «No dudo de que el profesor Oparin me ha precedido. Me avergüenza no haber leído su trabajo anterior, de modo que yo no sabía [...] que había poco de valor en mi articulito que no se pudiera encontrar en sus libros [...] No hay problema alguno de prioridad, aunque acaso sí de plagio.»

En 1936, Oparin publicó un libro en el que expuso de un modo mucho más completo sus teorías. Este libro fue traducido al inglés en 1938 y le mereció fama internacional. Pero había diferencias significativas entre esta obra y la anterior. Ambas aducían el carácter reductor de la Tierra primitiva, lo que habría permitido la síntesis mediante reacciones químicas corrientes en un mar de compuestos orgánicos (la «sopa diluida y caliente» de Haldane). Ambas versiones imaginaban la vida emergiendo de esta sopa: los organismos iniciales que se habrían desarrollado en ella la emplearían como alimento durante un tiempo. (El punto de vista más aceptado anteriormente era que los primeros organismos fabricaban sus propias sustancias orgánicas.)

Pero, ¿cómo aconteció este paso excepcional de sopa a ser vivo? Oparin, en su posición original, creía que se produjo mediante procesos aleatorios: «Es imposible, increíble, suponer que en el transcurso de los muchos centenares o incluso miles de años de existencia del globo terráqueo no se hayan dado por azar en algún punto del mismo las condiciones que llevarían a la formación de un gel en una disolución coloidal.» Oparin equiparaba esta última estructura con el primer sistema vivo primitivo, que más tarde bautizó con el término «coacervado». Si ampliamos un tanto la escala temporal, este planteamiento es en esencia el mismo que el expuesto tiempo después por George Wald: la generación espontánea. Pero en el libro de 1936 y en trabajos posteriores, Oparin recalcó un mecanismo diferente: la evolución química gradual, ineluctable. Este punto de vista concordaba plenamente con las ideas marxistas al uso sobre la herencia.

Según el informe de David Joravsky, en la obra de 1924 no había «ni un hálito de marxismo, consciente o inconsciente». (En los años veinte, los biólogos marxistas no contemplaban el origen de la vida como un tema que les distinguiera de sus iguales no marxistas.) Pero «en los años treinta, cuando se impuso el credo marxista a la intelectualidad soviética, Oparin se convirtió en uno de sus defensores más activos. Empezó por afirmar que Engels fue uno de los precursores de su aproximación al origen de la vida [...]. Modificó sus hipótesis sobre el origen de la vida para adecuarlas al credo lysenkiano, suprimiendo toda consideración sobre el origen de los sistemas genéticos».

Para ser justos, he de señalar que las ideas ulteriores de Oparin no se debieron probablemente a conveniencia política, sino a convicción propia, pues llegó a ellas antes de que fuera necesario hacerlo así, y las defendió hasta su muerte, mucho después de la caída de Lysenko. ¿Cuáles eran estas ideas? Citaremos sus palabras:

Según la perspectiva del materialismo dialéctico, la materia está en constante movimiento y pasa por una serie de estadios de desarrollo. En el curso de este progreso, surgen formas nuevas, más complejas, más evolucionadas, formas que tienen propiedades nuevas que no tenían las preexistentes [...]. Hoy día se han alejado del primer plano las leyes biológicas, y las del desarrollo de la sociedad humana empiezan a desempeñar un papel importante en el ulterior progreso.

A partir de 1936, Oparin niega la generación espontánea, afirmando que era inconcebible que «pudieran aparecer entidades vivas en un lapso de tiempo muy breve a partir de disoluciones desorganizadas de sustancias orgánicas». Por este motivo, rechazaba la idea del gen desnudo, la aparición repentina de una molécula bien adaptada a su función. Rechazaba que la vida pudiera ser inherente a una molécula individual de proteína o ácido nucleico, mientras el resto del protoplasma hacía de simple medio inerte. Comparaba a menudo estas ideas con las del filósofo griego Empédocles, quien creía que los seres vivos habían aparecido por desarrollo independiente de los distintos órganos —brazos, ojos, oídos, y así sucesivamente—, que luego se unieron.

Estas ideas bastaron para garantizarle la supervivencia durante el período lysenkiano. No obstante, sus servicios a dicha causa superaron este mínimo necesario. En palabras de Joravsky, «Oparin fue el único biólogo realmente ilustre que prestó un fuerte apoyo

al lisenkismo». Medvedev es muy crítico con el papel desempeñado por Oparin, afirmando que perdió el tino al elogiar a Stalin como «inspirador de la biología progresista». «Según Oparin, fue Stalin, antes que Lysenko, quien afirmó que los caracteres adquiridos son hereditarios, y fueron precisamente estos “destellos del genio de Stalin” los que inspiraron a los michurinistas en su batalla contra el neodarwinismo como perversión idealista de la biología.»

Durante el período 1948-1955, Oparin fue director de la Sección de Biología de la Academia de Ciencias, y ejerció cierta influencia en la provisión de importantes vacantes. Medvedev comenta el caso de D. A. Sabinen, importante fisiólogo vegetal que había caído en desgracia. Sabinen fue rechazado, pero al cabo de años de esfuerzo se labró una nueva candidatura. «Pero Oparin, que a la sazón encabezaba la sección de biología de la Academia y lisonjeaba a Lysenko por todos los medios posibles, se negó de pleno a aprobar el nombramiento de Sabinen, que se convirtió una vez más en un paria.» Finalmente, el pobre hombre se pegó un tiro.

En 1950, Oparin se alía con Lysenko para apoyar la concesión del premio Stalin a Olga Lepeshinskaia. Loren Graham, historiador de la ciencia soviética, la describe como «una bióloga mediocre, de una talla política impresionante». Había sido miembro del partido comunista desde los tiempos de su fundación y tenía cierta vinculación personal con Lenin y otros dirigentes políticos. Ya hemos catado una muestra de su estilo literario.

Su obra científica contenía afirmaciones del tipo de que podía preparar células vivas a partir de medios nutritivos no celulares, en un período de tiempo tan corto como veinticuatro horas. Uno de estos preparados incluía la albúmina de la clara del huevo (por lo visto, tomó las palabras de Engels bastante al pie de la letra). Medvedev afirma que «tachó al gran Louis Pasteur de reaccionario e idealista». Lepeshinskaia «consiguió» rebatir sus teorías mediante el logro de la generación espontánea en infusiones de heno. Otro descubrimiento de su autoría fue que los baños de sosa son un buen remedio contra el envejecimiento.

Oparin apoyó que se la premiara y elogió sus grandes servicios a la ciencia. Graham cree que Oparin actuó bajo presiones políticas, pues las opiniones de Lepeshinskaia contradecían abiertamente las suyas propias. Más adelante, Oparin abandonó gradualmente esta posición y entró de nuevo en abierta discrepancia con la generación espontánea, y por esta razón se mostró menos reservado en sus críticas a Lepeshinskaia y sus acólitos.

En 1955 se produjo una rebelión transitoria contra el lisenkismo, coincidiendo con el deshielo y la liberación momentáneos que siguieron a la muerte de Stalin. Por entonces, según Medvedev, trescientos científicos soviéticos firmaron una petición en demanda de la destitución de Lysenko y Oparin de sus puestos en la Academia de Ciencias, y la petición fue escuchada. En la necrológica de Oparin en *Transactions in Biological Sciences*, su paso por este puesto aparece resumido en una breve frase: «Oparin fue asimismo secretario de la Sección de Biología de la Academia durante un desdichado período, 1948-1955.»

En este clima se celebró en Moscú, en agosto de 1957, el Primer Simposio Internacional sobre el Origen de la Vida. Los primeros años de la década de los cincuenta habían sido testigos de la publicación de la teoría de Crick y Watson y de los experimentos de Miller y Urey. En su artículo, Miller había reconocido estar en deuda con los postulados de Oparin. La idea de un simposio internacional sobre el origen de la vida se propuso en 1955, en una asamblea de la Unión Internacional de Bioquímica. Los organizadores de la conferencia creyeron que la Unión Soviética, «cuyos científicos habían contribuido de modo considerable a la solución del problema del origen de la vida», era un lugar apropiado para el encuentro. El momento también era oportuno, pues se había producido en este campo «una coyuntura crítica».

La conferencia, presidida por Oparin, brindó un foro para la expresión de opiniones contrapuestas acerca de cómo se originó la vida. Hermann Muller no asistió, pero estaban presentes varios científicos norteamericanos que compartían su postura sobre el gen vivo, entre ellos Norman Horowitz, biólogo del California Institute of Technology. Tampoco asistió Lysenko, aunque sí diversos partidarios suyos. Algunos científicos occidentales se unieron a los soviéticos en la defensa de la idea de la evolución gradual. Allí estaba también Olga Lepeshinskaia, que mencionó sus propias investigaciones y citó la definición de Friedrich Engels sobre la naturaleza de la vida.

El historiador John Farley resumió esta primera gran conferencia sobre el origen de la vida de la manera siguiente: «Tras las cuestiones aparentemente inocuas que se formulaban, se abrían profundas diferencias ideológicas y políticas que asomaban, grandes y abultadas, en medio de la guerra fría de los años cincuenta.» Es innegable que estas cuestiones se plantearon, si bien no se hacían necesariamente evidentes. Yo mismo hacía poco que me había gra-

duado en Harvard y no me enteré de nada. Recientemente le pregunté a mi amigo Bea Singer, uno de los asistentes, cuáles fueron sus impresiones. Viajar por entonces a la Unión Soviética era una novedad, y Bea recordaba sólo los incidentes del viaje y no la confrontación política.

Sea como fuere, la conferencia inauguró una serie ininterrumpida de reuniones internacionales sobre el origen de la vida. La segunda se celebró en Wakulla Springs, Florida, en octubre de 1963. En ella se encontraron por primera vez Oparin y John Haldane, el cofundador del paradigma central.

Haldane difería de Oparin en que el origen de la vida no había sido una preocupación prioritaria de su carrera científica (se había ganado una merecida reputación como biólogo matemático, genetista y fisiólogo), pero compartía con Oparin la devoción por el comunismo. Haldane había hecho suyas las ideas marxistas en los años treinta y, durante varios años, fue editor del *Daily Worker* de Londres. Aunque Haldane apoyaba el partido comunista en muchos temas, se sentía incómodo con el lisenkismo, sobre todo después de los sucesos de 1948. Al parecer no le gustó el trato dado a los oponentes de Lysenko, pero también dudaba acerca de la validez de las ideas científicas de éste. Su biógrafo, Ronald Clark, señalaba que Haldane pidió a Lysenko detalles experimentales, y que al no recibirlos rompió con el partido. En 1949, escribió: «Soy mendeliano-morganista.»

En los últimos años de su vida (falleció en 1964, un año después de la conferencia de Florida), Haldane rompió también con su país de origen, Inglaterra: emigró a la India en 1957 y adoptó la nacionalidad hindú. Por lo visto, disenter formaba parte de su naturaleza. La teoría de la «sopa diluida y caliente» había sido una novedad cuando la propuso, pero cuando años después ganó aceptación, su desconfianza hacia toda ortodoxia le llevó a dudar de si podría ser correcta.

Haldane y Oparin, los dos principales cocineros de la sopa prebiótica, disentían en cómo surgió la vida en ella. Haldane era el único marxista que estaba a favor de la generación espontánea. En la conferencia de 1963, ambos reiteraron sus respectivos puntos de vista, con Haldane afirmando que «el organismo inicial pudo haber consistido en un presunto gen de ARN que especificaba sólo un enzima».

A pesar de esto, según parece se llevaban bien. Se decidió que a Oparin lo presentara Haldane, quien afirmó: «Supongo que a

Oparin y a mí se nos puede considerar viejos monumentos de esta rama de la ciencia; sin embargo, existe una diferencia importantísima entre los dos, y es que yo no sé nada serio al respecto, mientras que el doctor Oparin ha dedicado toda su vida al tema.»

Hermann Muller quizá se hubiera mostrado menos deferente con Oparin si hubiera estado presente en la conferencia, pero no pudo asistir a ella a causa de una grave enfermedad. Tiempo después leyó las actas y observó que sólo un puñado de asistentes, entre ellos Haldane, había adoptado su postura, en tanto que el resto se adhirió a la idea opariana de la primacía del protoplasma.

Este cambio de opinión de muchos científicos de la generación espontánea de un gen desnudo al gradualismo de Oparin es uno de los temas centrales del libro *Spontaneous generation from Descartes to Oparin*, del historiador John Farley. Como botón de muestra de este cambio, Farley cita la publicación de un texto muy conocido, obra de John Keosian, bioquímico norteamericano «sin vínculos marxistas conocidos». En este libro, Keosian escribe: «Desde el punto de vista materialista, el origen de la vida no fue un accidente remoto; fue el resultado de la evolución de la materia hacia niveles más y más elevados, pasando por el inexorable despliegue, a cada nivel, de sus posibilidades intrínsecas para llegar al nivel siguiente.» El propio Farley concluía en 1974:

Hoy día, la mayoría de los biólogos y bioquímicos parecen decantarse a favor del modelo evolucionista de Oparin. [...] La vida no llegó por generación espontánea, es decir, no apareció de golpe entidad viva funcional alguna —sea ratón, gusano, bacteria o «molécula viva»— a partir de material sin cualidades vitales. La vida afloró lentamente como parte de un largo proceso de desarrollo, cuyos estadios fueron todos muy probables en el momento en que se dieron.

Oparin consiguió sobrepasar el período de Lysenko sin graves dificultades. Representó un papel doble, de partidario de Lysenko en casa y de benévolo teórico del origen de la vida en el mundo occidental. En 1964 maniobró hábilmente hacia una posición neutral ante una cuestión referente a un nombramiento de Lysenko. A lo largo de toda su carrera, siempre logró mantener una plataforma segura para la propagación de sus ideas científicas.

Su prudente actitud sobre estos temas queda bien patente en el relato de una entrevista que le hizo en Moscú, en 1978, el periodista Harold T. P. Hayes. La entrevista transcurrió en presencia de un subdirector de la Academia y un traductor. Se le rogó a Hayes

que presentara las preguntas por escrito. y Oparin decidió responder sólo a algunas. Al término de la entrevista se sirvió coñac, galletas y bombones, y Hayes recibió la promesa de una respuesta más extensa por escrito; pero sólo le llegó una tarjeta de felicitación por Navidad un año después.

Las ideas de Oparin son lo único que sobrevive de la biología lysenkiana, y, a diferencia de todo el pensamiento lysenkiano restante, aún pueden tener alguna validez. Farley señalaba que han cobrado cierto ascendente, pero también hizo apuestas compensatorias. Concluía: «El resultado es el mismo que se ha abandonado tantas veces con anterioridad, para reaparecer simplemente tiempo después bajo otro disfraz. No se puede decir que se haya escrito el último capítulo de la controversia sobre la generación espontánea.»

Oparin, Muller, Haldane y Lysenko, todos se han ido. El calor político de la cuestión se ha enfriado y convertido en parte de la historia, pero las cuestiones científicas permanecen. De hecho, el desasosiego de Escéptico ha ido a más a lo largo de este discurso, pues opina que las complicaciones políticas no tienen nada que ver con la respuesta científica. Cuando Oparin afirmaba, por ejemplo, que «sólo el materialismo dialéctico ha dado con el camino del origen de la vida», estaba contribuyendo al dogma, no al experimento. La ciencia no avanza mediante declaraciones o consensos, sino mediante experimentación.

El tema del gen desnudo, con el corolario de la generación espontánea, sigue muy vivo hoy día. Ha sacado nuevas fuerzas de investigaciones experimentales y tratamientos matemáticos recientes, y a ellos dedicaremos nuestra atención en el capítulo siguiente (que raro sería fuera el último de esta historia).

VII. EL REPLICADOR ALEATORIO

Los científicos que trabajan en el origen de la vida disienten en muchos temas. Una importante materia de debate se da entre los que creen en la evolución química y los que proponen el gen desnudo, a quienes llamaremos genios desnudos. Como hemos visto, la disputa ha sobrepasado el ámbito de la ciencia y ha irrumpido en la política y la filosofía. En este capítulo expondremos las creencias de los genios desnudos con más detalle.

El mecanismo mejor conocido para incrementar la complejidad de las especies es la selección natural darwiniana. Tal mecanismo ha servido para guiar la evolución de los primeros organismos unicelulares hacia la diversidad de seres superiores —humanos incluidos— que habitan la Tierra de hoy. Si aceptamos esta opinión científica, nos queda todavía un misterio: ¿cómo aparecieron las primeras criaturas unicelulares? Son demasiado complejas para formarse por generación espontánea y, por consiguiente, deben de ser también producto de la evolución de seres aún más simples.

El origen de la vida, según un genio desnudo, coincidiría con la aparición de la primera entidad que tuviera la capacidad de reproducirse y experimentar mutaciones. Algunas de estas mutaciones llevarían a la creación de descendientes más aptos para una supervivencia continuada. Estos supervivientes proliferarían y perpetuarían el proceso de evolución por selección natural.

Cobra importancia, por tanto, hallar el sistema autorreproductor —o autorreplicador— más simple posible, pues tal sistema sería el primer ser vivo. En esta búsqueda, los virus son una clara fuente de inspiración. Están formados por cadenas relativamente cortas de ácidos nucleicos, envueltas en proteína. Embotellados y en una estantería, ofrecen el aspecto de un inocuo polvo blanco, apenas di-

ferenciable del azúcar o la sal. Un preparado de virus del mosaico del tabaco, por ejemplo, puede permanecer en un bote durante meses o años sin causar daño alguno. Pero cuando se aplica una porción de este polvo a las hojas de una planta de tabaco, las hojas de la planta se llenan de lesiones moteadas a consecuencia de la acción de los virus, que se multiplican en sus células.

Para apreciar cómo se relacionan los virus con otros organismos vivos en tamaño y complejidad, subamos de nuevo a nuestro imaginario ascensor de magnitudes. Nos trasladaremos al piso -6, donde las bacterias comunes tienen más o menos nuestro tamaño y los átomos apenas se ven. A esta escala, el tamaño de los virus va desde los tan pequeños como una moneda de peseta hasta los tan grandes como nuestro antebrazo. Unos son redondos, otros más cilíndricos, y los hay con formas mucho más complicadas. Prestaremos atención a uno de los mayores, el llamado T2, parecido a una cápsula lunar de juguete. Tiene una cabeza hexagonal, un cuello complejo y seis largas patas articuladas, todo ello compuesto de proteínas (se utilizan más de cincuenta distintas en la construcción de esta estructura). En el interior de la cabeza se esconde un fragmento de ADN que almacena la información genética. El T2 es complejo para lo que son los virus, y contiene más de 100.000 nucleótidos en cada cadena de ADN. Los virus son parásitos y producen enfermedades en el ser humano que van desde el resfriado vulgar hasta el cáncer; no obstante, el que nos ocupa no se interesa por nosotros, sino que escoge bacterias como víctimas.

El ciclo biológico del T2 se desarrolla como sigue. Aterriza con sus patas en la superficie de una bacteria y se «sienta» para poner el extremo del cuello en contacto con esta superficie. Acto seguido, inyecta su ADN en la bacteria a través del cuello. Este ADN pone en marcha de inmediato la producción de moléculas de ARN y proteínas, utilizando para ello ribosomas, enzimas y diversas subunidades bacterianas. Uno de los enzimas sintetizados destruye el ADN de la bacteria. El ADN del T2 se hace cargo de la célula y la convierte en una cadena de montaje para la producción de ADN y proteínas destinados a formar más partículas víricas T2. Transcurrido un tiempo, la bacteria estalla y se liberan al medio multitud de virus nuevos en busca de víctimas frescas.

En el ciclo biológico del T2, el ácido nucleico es el ingrediente esencial del virus, mientras que la cubierta proteínica sirve de protección y vehículo de transporte del ácido nucleico de una víctima a otra, actuando como una combinación de abrigo y automóvil.

Hay virus muchísimo más sencillos que el T2. Entre los más pequeños los hay que usan ARN, no ADN, como material genético. Por lo general, las moléculas de ARN son mucho más cortas que las de ADN, pero comparten la misma capacidad de formar dobles hélices, almacenar información y hacer copias de sí mismas.

De especial interés para nosotros es el Q β , que como el T2 es un parásito de bacterias. El Q β tiene como material genético una única hebra de ARN con unos 4.500 nucleótidos. (Un ácido nucleico no tiene por qué ser siempre una doble hélice, aunque debe adoptar esta forma cuando está siendo copiado.) A causa de la brevedad de su ácido nucleico, el virus Q β sólo puede codificar (guardar instrucciones para) unas pocas proteínas; así pues, no puede proveerse de una cubierta compleja, del estilo de la del T2, sino que debe conformarse con una mucho más humilde, compuesta de una sola clase de proteína repetida muchas veces.

Aún hay moléculas de ARN más pequeñas, capaces de reproducirse. Unas, los viroides, son trozos de ARN circular, de una sola hebra, con escasos centenares de nucleótidos. Los viroides están desnudos, pues sus rígidos bastoncitos de ARN van desprovistos de cubierta proteínica. No obstante, no podemos llamarlos genes, ya que su ácido nucleico no parece codificar proteína alguna. Pero es igual, los viroides pueden multiplicarse en ciertas plantas y producir enfermedades. En una ocasión vi diapositivas de una plantación de palmeras arruinada por una enfermedad llamada cadang-cadang, producida por un viroide, y me espantó pensar que todo aquel desperfecto lo había provocado un agente replicador de tamaño tan ínfimo. En el piso -6 del ascensor de magnitudes, un viroide no sería mayor que un dedo.

Existen ciertas moléculas de ARN con capacidad de replicación aún más pequeñas que los viroides. No se presentan de manera natural, sino que se originan a partir de virus Q β en experimentos que vienen a ser un modelo de evolución darwiniana en tubo de ensayo.

Durante la replicación, se copia ARN del Q β para producir más ARN de Q β . Las bacterias contienen unos enzimas que copian el ADN y otros que convierten los mensajes del ADN en ARN, pero ninguno que copie ARN. Estos enzimas, de existir, copiarían el ARN de transferencia y el ARN de los ribosomas en el caso de que se necesitasen copias extra de estas moléculas; pero la cantidad de ARN presente en una bacteria está controlada normalmente por el ADN de la célula, no por la reproducción directa del ARN.

Así pues, el Q β debe aportar su propio enzima copiador, la replicasa, si desea tener descendientes. Poco después de penetrar en una bacteria, el ARN del Q β actúa como un mensajero y dirige la síntesis de este enzima, utilizando los ribosomas bacterianos a tal fin. La replicasa convierte primero el ARN del Q β en una doble hélice y luego la usa para producir más copias de la hebra de ARN original. Para la construcción del ARN se precisan materias primas, y las adecuadas son ciertos nucleótidos que llevan energía química incorporada; en este libro los llamaremos «nucleótidos activos». El virus no tiene de suyo nucleótidos activos, sino que se sirve de los de la bacteria. La replicasa tiene otra aptitud fundamental: puede diferenciar el ARN del Q β de los diversos ARN bacterianos existentes, y no pierde el tiempo en copiar estos últimos.

El ARN del Q β puede reproducirse en un tubo de ensayo igual que en una bacteria. Este sistema fue investigado por vez primera por el bioquímico Sol Spiegelman, en una notable serie de experimentos realizados en la Universidad de Illinois. Por supuesto, para reproducir el Q β se necesita replicasa, subunidades para construir el ARN y sales para mantener la replicasa y el ARN del Q β en buen estado; pero con esto es suficiente. Cuando se mezclan todos esos ingredientes, el ARN produce réplicas de sí mismo hasta que se agotan los componentes en el tubo de ensayo.

Si se añaden más subunidades, el proceso continúa indefinidamente, pero se requiere más espacio para la progenie. Para no tener que transferir el contenido del tubo a un fregadero o a una bañera, se recurre a un procedimiento muy simple: al cabo de un tiempo, se lleva una muestra del tubo de ensayo original a otro nuevo con más replicasa y nucleótidos, pero sin ARN. Mediante este sistema se puede seguir la pista de los descendientes del ARN original durante docenas de generaciones.

Se producen inevitablemente errores cuando la replicasa copia su ARN. Si estas mutaciones se presentan en el ciclo biológico normal del virus Q β , pueden producir un cambio en la secuencia aminoacídica de una proteína codificada por el ARN. Si la nueva proteína tiene defectos graves, el virus mutante puede ser incapaz de sobrevivir o de reproducirse, y en ese caso el cambio se extinguirá.

Muchos de los cambios en el ARN del Q β debidos a mutación sólo producen pequeñas desventajas, de modo que la nueva proteína puede ser tan buena —o casi tan buena— como la original. Además, por la forma como los genes se disponen en el ARN del Q β y la naturaleza del código genético, ciertos cambios en la se-

cuencia del ARN no tienen por qué reflejarse en las proteínas, y por consiguiente son absolutamente inocuos.

En la naturaleza, los virus Q β individuales no son, por lo general, idénticos, debido a la continua aparición de mutaciones. Un ARN puede diferir de otro por la identidad de uno o dos nucleótidos en una secuencia de millares. Un grupo de partículas víricas Q β es en esencia una multitud de individuos estrechamente emparentados, con una herencia media común, reflejada por la secuencia media del ARN. No es probable que un virus individual se desvíe mucho de esta secuencia, pues a medida que se acumulan mutaciones aumenta la probabilidad de obtener una que sea letal. Mucho más infrecuente es el cambio verdaderamente beneficioso que por selección natural vendría a dominar la población.

Las reglas del juego cambian de modo considerable cuando se deja que el ARN del Q β se replique en un tubo de ensayo. Cabe comparar esta situación con la de un animal salvaje en un zoológico: está a salvo de peligros y no ha de cazar para comer, pues su guardián se ocupa de satisfacer sus necesidades. No tiene otra cosa que hacer sino criar. En tal supuesto, las mutaciones en las proteínas de la cubierta o en la replicasa son inocuas, ya que el ARN no necesita cubierta y la replicasa es de procedencia externa. Así pues, los cambios en las secuencias correspondientes no serán perjudiciales. Pero hay un tipo de cambio que sí le será beneficioso: el que acelere el proceso de copia.

Por ejemplo, si una molécula de ARN puede autorreplicarse en diez minutos en vez de hacerlo en los veinte de ordinario, tendremos dos generaciones en el tiempo que normalmente necesitamos para una, y cuatro descendientes en lugar de dos. Con el tiempo, la progenie de esta molécula dominará toda la mezcla porque los competidores más lentos irán desapareciendo en las sucesivas diluciones. Este proceso imita la selección natural darwiniana: sobrevive la molécula de ARN más apta.

¿De qué medios dispone una molécula de ARN para acelerar su propia reproducción? El método más evidente es acortarse. Así como podemos copiar a mano un mensaje de una página en la mitad de tiempo que uno de dos páginas, una molécula mitad de otra será copiada por la replicasa en la mitad de tiempo.

Supongamos que la cadena de ARN vírico se parte por la mitad a causa de una reacción aleatoria con el agua que rompe uno de los enlaces fosfato-azúcar. Cada mitad será ahora un individuo que teóricamente podría ser copiado por la replicasa en la mitad de

tiempo; sin embargo, en la práctica sólo se copiará una de las mitades. La razón estriba en que, como ya hemos señalado antes, la replicasa puede distinguir el ARN del Q β de otros ARN que acostumbran presentarse en una célula bacteriana, y realiza dicha distinción acoplándose a ciertas secuencias de nucleótidos próximas a uno de los extremos del ARN vírico. De romperse una molécula de ARN del Q β , sólo un fragmento recibirá las secuencias de identificación, mientras que el otro no será reconocido.

El fragmento identificado proliferará rápidamente y acabará por dominar la mezcla. Con el tiempo, un miembro de la progenie sufrirá alguna rotura aleatoria en la cadena, y ello dará lugar a un descendiente aún más fértil. El proceso concluirá cuando se produzca la cadena más corta posible a partir del ARN del Q β , con las imprescindibles secuencias de identificación.

En su primer experimento, el grupo de Spiegelman siguió la evolución del ARN del Q β en tubo de ensayo durante más de 70 generaciones. Al término de este tiempo, la mezcla estaba dominada por una única especie de ARN con sólo 550 nucleótidos. Dicho ARN se había descargado, pues, de la mayor parte de la información genética inútil para obtener un replicador más rápido.

Se realizó otra serie de experimentos con ARN ya acortado al máximo. A este ARN se le indujo a replicarse en presencia de un fármaco que retardaba el proceso. Esta sustancia se une al ARN en ciertas secuencias de nucleótidos especialmente favorecidas, de modo que al alcanzar la replicasa el punto de unión del fármaco no le queda más remedio a aquélla que darle un empujón, de forma parecida a como apartaríamos una caja de cartón que nos cerrara el paso en el pasillo de un supermercado: en ambos casos se pierde tiempo.

Se dejó transcurrir cierto número de generaciones del ARN en presencia del fármaco, y se analizó la descendencia. Como antes, había un único tipo de molécula, distinta del ARN de partida por tres cambios en la secuencia de nucleótidos. Estos cambios habían destruido el lugar de enlace favorito del fármaco, y a consecuencia de ello, la tasa de replicación recuperó prácticamente su valor original, cuando el fármaco no estaba presente. El ARN se había modificado otra vez.

Estos experimentos, y otros de naturaleza similar, demostraron que una simple molécula puede adaptarse genéticamente a cambios de su medio ambiente. Por esta razón, el proceso ha recibido el nombre de evolución en tubo de ensayo.

Llegados a este punto, Escéptico desea hacer una observación. Nos recuerda que la evolución supone obtención de capacidades nuevas, a la par que un aumento de complejidad, y pregunta si el ARN ha evolucionado realmente en este sentido.

En el primero de los experimentos descritos, apunta Escéptico, el ARN perdió la mayor parte de la información original. El experimento del fármaco sólo puso de relieve la adaptación ante circunstancias ambientales adversas. El ARN no adquirió ninguna capacidad nueva, ni podía hacerlo. Sin acceso a la maquinaria sintetizadora de proteínas, no podía fabricar, por ejemplo, una replicasa mejorada, o un enzima que le permitiera destruir el fármaco.

Para los partidarios de la primacía de los ácidos nucleicos en el origen de la vida, esta falta de control del ARN sobre las proteínas, incluido su propio enzima replicador, es una contrariedad. Uno de los objetivos de la investigación en este campo ha sido el desarrollo de un sistema en el que el ácido nucleico pueda replicarse sin la ayuda de una proteína, y se ha conseguido algún progreso parcial.

Leslie Orgel y sus colegas del Salk Institute en La Jolla, California, han inventado unos nucleótidos artificiales ricos en energía. Al mezclar estas subunidades con ciertas moléculas de ARN (no todas), se unían y formaban una nueva cadena que casaba con la existente según las reglas de Crick y Watson. El ARN inicial de una sola hebra se convertía en una doble hélice sin el auxilio de una replicasa.

La nueva doble hélice presentaba algunos desacoplamientos en el eje azúcar-fosfato, y la longitud media de la nueva cadena no pasaba de quince unidades. La subunidad especial utilizada fue hallada al cabo de un proceso de ensayo y error, y, según Orgel, no es probable que existiera en la Tierra primitiva. Además, el proceso se interrumpió una vez construida la doble hélice, de modo que el ARN no se copió más.

Por estas razones, Orgel se ha mostrado muy reservado al presentar su trabajo, calificando la reacción de modelo. Otros son menos prudentes y lo consideran un indicio claro de que el gen desnudo pudo, de un modo u otro, reproducirse en la Tierra primitiva sin el concurso de proteínas.

Sin embargo, para cuando escribo esto, no se ha conseguido demostrar que un ácido nucleico pueda arreglárselas sin una proteína. Desde luego, el sistema Q β en tubo de ensayo no funciona sin la replicasa, e incluso algunos han llegado a una conclusión diferente e inesperada: el componente innecesario de este sistema es el ARN.

Durante la década pasada, el premio Nobel Manfred Eigen y sus colegas del Instituto Max Planck, en Göttingen (Alemania), realizaron extensas investigaciones sobre el sistema Q β en tubo de ensayo. En ciertos experimentos, mezclaron replicasa, nucleótidos activos y sales, pero omitieron el ARN. No pasó nada por un tiempo, pero tras este retraso, que variaba de un experimento a otro, apareció un ARN que luego se reprodujo y evolucionó.

Los ARN presentes en un primer momento constituían una población mixta, algunos con sólo 60 nucleótidos. Durante el ulterior proceso evolutivo, se alargaron y, en último término, el resultado fue una única especie con 150 a 250 nucleótidos. Sin embargo, la secuencia concreta de este vencedor variaba de un experimento a otro. En resumen, la replicasa, cuando se le da ARN para copiar, se construye al parecer uno propio.

Este resultado causó tanta sorpresa que se supuso que en los tubos de ensayo debería de estar presente una minúscula cantidad de ARN que iniciaría el proceso. Se han hecho serios esfuerzos en diversos laboratorios para eliminar esta alternativa, y de momento la cuestión no está zanjada. (A estas alturas, espero que el lector se haya acostumbrado a tal estado de incertidumbre; la ciencia normal trabaja así.) Con todo, parece que el resultado se confirmará. Si es así, no es precisamente de los que confortarán a los partidarios de la primacía de los ácidos nucleicos. Volveremos a ello en un capítulo posterior, cuando les toque el turno a los defensores de las proteínas.

Manfred Eigen y sus colegas han edificado una elaborada teoría del origen de la vida, basada en sus resultados con el sistema Q β y en vastos cálculos matemáticos que versan sobre las interacciones entre grandes moléculas durante el desarrollo temprano de la vida.

Sus hipótesis arrancan de una sopa prebiótica. No emplean las que producen los mejores experimentos Miller-Urey, sino un caldo bioquímico propio, mucho más nutritivo. La receta incluye pequeñas proteínas y grasas sintetizadas al azar, en cantidades suficientes para formar fragmentos de membrana, y nucleótidos activos naturales u otras subunidades ricas en energía adecuadas para la construcción de ácidos nucleicos. El acontecimiento crítico en esta mezcla es el montaje, al azar, de una molécula capaz de reproducirse. Para tal honor se escoge el ARN, no el ADN.

A pesar de la actual celebridad del ADN, diversas razones llevan a pensar que el ARN le precedió en el origen de la vida. Desde luego, el ARN desempeña una función más versátil que el ADN en la

vida actual: como hemos visto, son tres las clases de ARN esenciales para la síntesis de proteínas, y, por otro lado, el ARN desempeña un papel corto pero imprescindible en la replicación bacteriana. Además, en ciertos virus, el ARN funciona como material genético.

En el desarrollo de las colectividades, las personas con dotes prácticas aparecen generalmente antes que los especialistas. Es probable que lo mismo sea cierto en la evolución de la vida, de modo que el ARN existiera antes que el ADN. Otros indicadores apuntan en la misma dirección. Por ejemplo, en la bioquímica celular actual los elementos constructivos del ADN se sintetizan a partir de las correspondientes subunidades del ARN, lo que quizá sea un reflejo del orden histórico de los acontecimientos. Existe una razón adicional para que esto sea así: en la síntesis química, el azúcar del ADN, la desoxirribosa, es más difícil de preparar y más fácil de descomponer que el azúcar del ARN, la ribosa (el descubrimiento de la desoxirribosa en los ácidos nucleicos se demoró justamente por esta razón). Este azúcar probablemente no estuvo nunca presente en ninguna sopa prebiótica, sino que se introdujo en los procesos de la vida cuando evolucionó el enzima capaz de ocuparse de él.

Pero volvamos al argumento de Eigen. En él se supone que la vida comenzó el día en que en la sopa enriquecida se formaron por accidente una o más moléculas de ARN reproductoras. Por supuesto, esta idea satisfará a un genio desnudo, aunque en nuestra hipótesis la molécula de ARN no tiene por qué haber estado totalmente desnuda: durante su replicación habría podido recibir una modesta ayuda de las proteínas que también se habían sintetizado al azar y cohabitaban con ella en la sopa. Dicho jocosamente, acaso el ARN tuvo su hoja de parra. Por otro lado, este ARN primitivo no sería un gen, pues, como el ARN del Q β en el tubo de ensayo, no codificaría proteínas y sólo produciría copias de sí mismo. A este ARN lo llamaremos replicador aleatorio.

Según esta hipótesis, se formaron por azar una o más moléculas de ARN (si sólo se formó una, pronto se diversificó a causa de la inexactitud de la replicación). Tras un período de competencia y evolución, surgió un ganador. Como en el experimento del Q β , era un tipo de molécula idóneo para la replicación, y no tenía una secuencia única, sino que en realidad debió de existir un grupo de moléculas individuales estrechamente relacionadas, llamadas cuasi especies.

Eigen y sus colaboradores han sometido esas cuasi especies a análisis matemático, y han concluido que el ARN podía alcanzar

una longitud de 100 unidades, pero que por encima de este número los errores de copia destruirían su identidad.

Las fases siguientes también fueron deducidas por cálculo, si bien no se especifican sus detalles bioquímicos. De uno u otro modo, las moléculas de ARN aprendieron a ejercer un control sobre las proteínas y a influir en su composición y funcionamiento. Se desarrolló entonces un código genético primitivo. Las distintas moléculas de ARN de las cuasi especies adoptaron diferentes funciones y cooperaron en beneficio mutuo. Por ejemplo, diversos ARN individuales podrían servir para controlar cada uno una clase de aminoácido distinta (como hacen hoy día los ARN de transferencia), y juntos podrían construir una proteína.

Entre los diversos ácidos nucleicos y proteínas se desarrolló una compleja y cooperativa serie de interacciones, de controles y equilibrios. Estos conjuntos han recibido el nombre de hiperciclos y han sido sometidos a extensos análisis matemáticos. El desarrollo de los hiperciclos se produjo de manera continua, sin divisiones de ningún tipo, de modo que éstos llenaron toda la sopa. Por entonces no existían organismos competidores independientes. Los hiperciclos ganaron en complejidad y control del medio ambiente hasta que se alcanzó un límite.

Para que se dieran nuevos progresos, era preciso reintroducir la competencia. Los lípidos presentes en el caldo de Eigen se utilizaron entonces para construir compartimientos. Inicialmente, los compartimientos albergaban contenidos similares. Sin embargo, a medida que las mutaciones aleatorias hicieron sentir sus efectos, el resultado fue la diversificación. Los distintos hiperciclos, cada cual con su propia membrana, empezaron a competir entre sí, y así fue como aparecieron las primeras células en la Tierra.

Llegados a este punto, podemos combinar la teoría de Eigen con una anterior de Norman Horowitz. Las células más primitivas contaban con la sopa para abastecerse de unidades de construcción y fuentes adecuadas de energía. Al proliferar, agotaron gradualmente las golosinas producidas por la síntesis química prebiótica.

Supongamos que cierto producto químico importante se formaba en la sopa por la vía $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D$, siendo A un material abundante e inagotable, como puede serlo por ejemplo uno de los principales ingredientes de la atmósfera. Los organismos primitivos necesitaban el último producto, D, para efectuar sus procesos metabólicos, y, con el tiempo, al multiplicarse los organismos, el consumo de D superó su producción constante y las existencias empeza-

ron a escasear. La competencia por la cantidad limitada de D se endureció y la supervivencia se hizo difícil.

Con el tiempo, un organismo adquirió por mutación la capacidad interna de producir D a partir de C por vías catalizadas enzimáticamente, de modo que podía crecer empleando C en vez de D. Este organismo se multiplicó y dominó el medio ambiente. Al cabo de cierto tiempo, también C empezó a mermar, hasta que un nuevo organismo obtuvo por mutación la capacidad de producir C a partir de B. El proceso se fue prolongando hacia atrás hasta poner los recursos más sencillos al servicio de los mecanismos de la vida. Así fue como se desarrolló la fotosíntesis, gracias a la cual los organismos que la poseían podían obtener energía directamente de la luz solar, además de los ingredientes normales del aire y del suelo. La sopa ya no era necesaria.

Esta combinación de la teoría de Horowitz con el trabajo actual de Eigen y colaboradores ofrece una descripción coherente y bastante continua del origen y desarrollo de la vida desde la sopa hasta la célula autónoma. Reina un profundo desacuerdo acerca de los mecanismos y estructuras específicos que pudieron haber intervenido una vez formado el primer replicador de ácido nucleico, aunque ello no desborda la sensación general de que por fin empieza a columbrarse una imagen de conjunto.

Eigen y tres coautores concluían un reciente artículo en *Scientific American* con las palabras siguientes: «Los principios que guían el devenir de una organización de este tipo están formulados y verificados mediante experimentación. Ahora queda por descubrir con precisión cuáles fueron las estructuras moleculares favorables.» En otras palabras, queda mucho por hacer, si bien ya se avista la luz en el extremo del túnel.

Una característica satisfactoria del esquema es que retrotrae un principio único y aceptado por la mayoría, la selección darwiniana, a la época del primer replicador. La selección queda interrumpida durante un período de cooperación molecular en las primeras etapas, pero, por lo demás, domina completamente el desarrollo de la vida.

La laguna más importante en todos estos procesos atañe a los pasos previos a la aparición del primer replicador. La selección natural no opera y nos quedamos sólo con el azar. Vuelve a asomar, aunque de una manera más discreta, la generación espontánea. No la reclamamos para toda una célula, sino sólo para un fragmento, una molécula: el replicador. En realidad, la idea no es reciente. Un

bioquímico de Harvard, L. T. Troland (citado por Muller como precursor de su pensamiento), escribía en 1914:

Por consiguiente, no nos queda más remedio que admitir que la producción del enzima original de la vida fue un suceso fortuito [...]. El hecho sorprendente de que la teoría enzimática del origen de la vida, tal como la hemos perfilado, requiera la producción de sólo una *molécula individual* del catalizador originario, hace de la objeción de improbabilidad casi un absurdo [...]. Y cuando uno de estos enzimas apareció por vez primera, desprovisto de todo cuerpo, en los mares primigenios, el fenómeno de la vida sobrevino seguidamente como consecuencia de su característica naturaleza reguladora.

Sólo necesitamos sustituir «enzima» por «ácido nucleico» y «reguladora» por «reproductora» en el texto de Troland para actualizarlo. El artículo de Oparin de 1924, como hemos señalado, también invocaba el azar para producir su primera estructura crucial: «un gel en disolución coloidal».

En el *Relato del miércoles* de la Introducción, yo parafraseaba un relato moderno muy conocido, debido a Robert Jastrow, sobre la creación aleatoria del replicador. Recientemente han aparecido otros. Por ejemplo, Richard Dawkins escribía en 1976, en *El gen egoísta*:

Procesos análogos a éstos tienen que haber dado lugar a la «sopa primigenia» que los biólogos y los químicos creen que constituyó los mares hace tres a cuatro mil millones de años. Las sustancias orgánicas se concentraron localmente, quizá como espuma en las orillas o como minúsculas gotitas en suspensión. Bajo el influjo adicional de la energía, como la luz ultravioleta del Sol, se combinaron en moléculas mayores [...]. En aquellos tiempos, grandes moléculas orgánicas podían flotar, indemnes, en el espeso caldo. En algún momento se formó, por azar, una molécula especialmente notable, a la que llamaremos *el replicador*. Quizá no fuera la molécula más grande, ni tan siquiera la más compleja, pero tenía la extraordinaria propiedad de poder hacer copias de sí misma.

Dawkins prosigue en la dirección marcada por George Wald. Un acontecimiento así sería improbable, pero sólo tuvo que darse una vez en mil millones de años. «En realidad, una molécula que haga copias de sí misma no es tan difícil de imaginar como parece [...]. Era grande la disponibilidad de pequeños bloques constructivos en la sopa que rodeaba al replicador.»

No hace falta que expongamos de nuevo el punto de vista de Escéptico. Evidentemente, la probabilidad de la generación espontánea de un replicador de ácido nucleico es mayor que la de una bacteria completa; pero este último suceso era tan imposible que puede darse una enorme mejora y las cosas seguir todavía igualmente imposibles. En el caso de la bacteria, los cálculos de Morowitz nos obligaban a subir al piso cien mil millonésimo de nuestra torre de los números, cuando estimábamos que el número máximo de ensayos posibles en la Tierra primitiva nos llevaría sólo al piso quincuagésimo primero.

¿Qué costaría componer el replicador al azar? Las estimaciones mínimas publicadas proponen una hebra única de ARN con acaso 20 nucleótidos. Para edificar esta estructura habría que enlazar 600 átomos de una determinada manera, muchísimos menos que los millones necesarios para una bacteria. También serían más los ensayos posibles para construirla. La replicasa del Q β puede unir 200 por minuto cuando copia una molécula de ARN. Supongamos, en el mejor de los casos, que el montaje espontáneo procedió al mismo ritmo. Por lo tanto, se podría construir un replicador en una décima de minuto. Además, el espacio ocupado por un replicador de veinte unidades podría ser sólo una millonésima parte del volumen de una bacteria, de modo que se podrían realizar muchos ensayos por cada uno de los empleados para fabricar una bacteria. Considerando todos estos factores, podemos aceptar 10^{59} como el número máximo de ensayos posibles para fabricar un replicador. Hemos alcanzado, pues, el piso quincuagésimo nono de la torre de los números, ganando ocho pisos.

Pero ¿cuáles son las probabilidades de construir un replicador? John Haldane consideraba que la posibilidad de obtener una máquina que se autorreproduzca depende del número de piezas que la compongan. Si el número es pequeño, no hay problema: «Barajando las letras ACEHIMN, es posible formar la palabra "machine" por término medio una vez de cada 5.040 ensayos.» Si pudiéramos barajar una vez por segundo, necesitaríamos sólo 84 minutos para realizar esos ensayos.

Esta analogía sugiere que no debería ser difícil montar un replicador más bien pequeño, de modo que examinémosla más detenidamente. Continuaremos con la metáfora del lenguaje, pero dejando de lado las cartas con letras en favor de una situación citada *ad nauseam*: el mono ante la máquina de escribir. Llamemos Charlie al mono. Charlie es especial: nunca se cansa, y mecanografía una

línea por segundo, totalmente al azar. Podemos ajustar el carro de la máquina de modo que cada línea contenga el número de letras que se nos antoje, y además podemos añadir o quitar letras del teclado.

Presentaremos un ejemplo sencillo. Si establecemos que cada línea tenga siete letras, y dejamos sólo las letras *a, c, e, h, i, m* y *n* en el teclado, ¿cuánto tardará Charlie en escribir «machine»?

Necesitará más tiempo que nosotros con las cartas, ya que puede usar la misma letra más de una vez. Las posibilidades son de 1 en 7^7 ensayos, o 1 en 823.543. A un ensayo por segundo, se precisarían nueve días y medio para que Charlie hiciera todos esos intentos.

Démosle ahora a Charlie un teclado normal con, por ejemplo, 45 teclas. Las posibilidades se reducen bruscamente a 1 en 45^7 , o 1 en 370.000 millones de ensayos. Le llevaría a Charlie (o a sus descendientes) 11.845 años realizar todas esas probaturas. La palabra «machine» no aparecería con la facilidad que apunta la analogía de Haldane.

Las cosas empeoran rápidamente cuando empleamos mensajes mayores. Dejemos que Charlie pruebe con un fragmento de *Hamlet*. La celeberrima frase «*to be or not to be*» tiene 18 caracteres, si contamos también los espacios como caracteres. La probabilidad de que nuestro mono la teclee es de 1 en 45^{18} , o 1 en 6×10^{29} . A un ensayo por segundo, le costará al pobre Charlie más de 10^{22} años completar ese número de pruebas. Si el modelo abierto del Universo es válido, Charlie seguirá tecleando hasta mucho después de que las estrellas hayan dejado de brillar y todos los planetas se hayan dispersado por el espacio a causa de cuasi colisiones estelares.

Para colmo de los colmos, ahora se nos ha despertado una auténtica ansia por Shakespeare. Queremos que nuestro mono mecanografe «*to be or not to be: that is the question*», que tiene 40 caracteres. Las posibilidades son entonces de 1 en 45^{40} , o aproximadamente 1 en 10^{66} . Esta cifra es diez millones de veces mayor que el número máximo de ensayos posibles para la generación al azar de un replicador en la Tierra primitiva.

Y a eso vamos. Si la probabilidad de obtener el replicador al azar a partir de una sopa prebiótica es menor que la de topar con «*to be or not to be: that is the question*» al azar en una máquina de escribir, mejor será que lo olvidemos, y éste es el caso: suponiendo que el replicador tuviera como mínimo unos 600 átomos, tal como

hemos supuesto antes, la probabilidad de que Charlie mecanografe un mensaje de 600 letras correctamente es 1 en 10^{992} .

Totalmente de acuerdo: no se pueden comparar directamente átomos y letras o moléculas y palabras, y el número de compuestos orgánicos posibles que cabe formar con 600 átomos no es fácil de calcular. Supongamos que hubiera 10 clases de átomos frecuentes en la Tierra primitiva. Con un teclado de 10 letras, la probabilidad de un mensaje de 600 letras es «sólo» de 1 en 10^{600} . Además, por razones técnicas, una parte de estos compuestos no se podría sintetizar, o sería inestable. Pero, por otro lado, las moléculas orgánicas son tridimensionales, existen formas D y L, y tienen otras complicaciones no presentes en el alfabeto. Resumiendo, a partir de argumentos químicos sencillos se puede demostrar fácilmente que pueden existir como mínimo 10^{100} moléculas orgánicas estables de hasta 300 átomos.

Podríamos llegar a una conclusión similar por una vía muy diferente. En un capítulo anterior hicimos referencia al método de Harold Morowitz. Él no computaba el total de posibilidades, que pesaban todas por igual. En lugar de eso, calculaba qué preferiría hacer un grupo de átomos si llegara al equilibrio, y consideraba entonces las probabilidades en contra de obtener, por ejemplo, una bacteria. Para un virus de nada sólo tendríamos que subir al piso dos millones de la torre de los números, mientras que para un pequeño enzima sólo se requiere llegar al piso 8.000. En la tabla de Morowitz no figuran las probabilidades en contra de obtener un replicador, pero, por extrapolación, quedarían bastantes centenares, o quizá un millar o dos, de pisos más arriba que en el caso del enzima.

En todos estos métodos, la probabilidad en contra de la generación aleatoria de un replicador de ácido nucleico queda todavía muy por encima del número de posibilidades. El suceso es todavía tan desfavorable que la formación casual del replicador parecería un milagro, pues una distancia de siquiera una docena de pisos en nuestra torre refleja probabilidades de 1 en un billón, y un triunfo en tales circunstancias tendría toda la apariencia de un milagro.

Pero no se acaban aquí las cosas. Aunque se diera el milagro y apareciera el replicador flotando en los mares de sopa prebiótica, su destino sería incierto. Perecería sin mayor consecuencia, pues en este mar aleatorio encontraría únicamente multitud de compuestos químicos extraños, y no las subunidades que necesita para reproducirse. Haría falta un segundo milagro que le permitiera rodearse

exactamente de los ingredientes que necesitara para hacer nuevos progresos.

Con todo esto no llevamos la contraria a los partidarios de la primacía del ácido nucleico, pues la mayor parte de ellos conveniría probablemente con el análisis expuesto hasta ahora. Algunas obras de divulgación pueden suponer que la primera molécula viva se formó a partir de una mezcla química absolutamente aleatoria; sin embargo, los científicos creen otra cosa. Si se me permite parafrasear su posición, ésta vendría a ser más o menos así:

El primer replicador no se formó a partir de una mezcla en equilibrio. Estaba bajo la influencia de diversas fuentes de energía —los rayos, la radiación solar, etc.— y se encontraba lejos del equilibrio, de modo que el cálculo de Morowitz no hace al caso. Según proseguía la entrada de energía, se sintetizaban compuestos cada vez más complejos. Sin embargo, no se formaban todos los posibles: unos gozaban de gran preferencia, otros apenas de ninguna. Entre los compuestos sintetizados, las subunidades activas del replicador y otros compuestos bioquímicos importantes ocupaban un lugar destacado. El replicador surgió por casualidad, pero con esta mezcla como punto de partida.

Ésta es su posición, expresada, en aras de la claridad, con mis propias palabras. Sin embargo, como es un punto crítico, deberíamos permitir que sus paladines hablaran por sí mismos. En un artículo de 1978, Manfred Eigen y su colega Peter Schuster escribían: «Aquí partimos simplemente de la suposición de que, cuando comenzó la autoorganización, todos los materiales ricos en energía eran omnipresentes, en particular diversos aminoácidos en diverso grado de abundancia, nucleótidos portadores de bases —A, U, G, C—, polímeros de aminoácidos o nucleótidos [...] con secuencias más o menos aleatorias.»

Como refuerzo, citemos las palabras de B. Kuppers, otro científico alemán del grupo de Göttingen: «En realidad, numerosos experimentos en el campo de la química orgánica primordial demuestran que las grandes moléculas biológicas (aminoácidos, fosfatos de nucleósido ricos en energía) se pudieron formar y polimerizar espontáneamente en proteínas y ácidos nucleicos.» (En esta cita, léase «nucleótidos activos» por «fosfatos de nucleósido» y «unirse» por «polimerizar».)

Si estas afirmaciones fueran ciertas, entonces el origen de la vida sería una empresa mucho más sencilla de lo que parece. Supongamos, por ejemplo, una sopa prebiótica con unos cuarenta

compuestos bioquímicos, presentes en cantidades razonables y capaces de unirse para formar grandes moléculas. Admitamos asimismo que se proveían de continuo productos bioquímicos de repuesto, de modo que se podían hacer pruebas sin pausas para adquirir nuevos materiales. Además, supongamos que los nucleótidos activos naturales (o las subunidades equivalentes) constituían el 10 % de la mezcla. Si estas premisas son válidas, la probabilidad de unir veinte nucleótidos en fila sería «sólo» de 1 en 10^{20} , que sigue siendo un número formidable, si bien cae dentro del intervalo que nos permitiría ganar si tuviéramos a nuestra disposición mil millones de años y cierto número de lugares adecuados en los que poder realizar experimentos.

Escéptico vuelve a recabar nuestra atención. El análisis puede ser correcto, subraya, pero ¿son válidas las premisas? Ha sido bastante difícil establecer que la Tierra primitiva tuvo una atmósfera reductora, que existieron siquiera aminoácidos libres. ¿Por qué habríamos de esperar mezclas de nucleótidos omnipresentes, abundantes? En los experimentos Miller-Urey, la irradiación de atmósferas simuladas jamás ha producido nucleótidos, ni tan siquiera nucleósidos, y éstos tampoco se han identificado en los meteoritos ni observado en el espacio interestelar. ¿Qué experimentos apoyan la idea de que la Tierra primitiva estuvo repleta de ellos?

Para responderle hemos de explorar el dominio de la llamada química prebiótica, que ocupa la atención de muchos científicos experimentales interesados por el problema del origen de la vida. El químico prebiótico crea, manipula los productos de las reacciones químicas, una vocación que comparte con otros químicos que no trabajan sobre el origen de la vida. Pero se diferencia de los demás en que opera bajo una serie de restricciones autoimpuestas. Trata de simular reacciones que pueden haberse producido en la Tierra primitiva, al objeto de desvelar un encadenamiento plausible de episodios que pudieran haber desembocado en el origen de la vida. Cuando el químico corriente intenta preparar alguna sustancia nueva, puede seleccionar cualesquiera reactivos y condiciones que le sirvan a tal fin. El químico prebiótico, en cambio, se circunscribe a las condiciones que se dieron en la Tierra antes del comienzo de la vida. Como tales condiciones se desconocen, se toma generalmente la Tierra actual como referencia, excepto en lo que atañe a la atmósfera, que se supone de carácter reductor.

Los químicos sintetizadores, a diferencia de sus colegas prebióticos, pueden emplear disolventes orgánicos como éter, tetracloruro

de carbono, alcohol y productos derivados del petróleo. Y con frecuencia, el agua es un enemigo a excluir con todo el rigor posible. Recuerdo al respecto una fastidiosa experiencia de mi primer curso de laboratorio de química orgánica. Había que realizar una reacción que recibe el nombre del químico y premio Nobel francés Victor Grignard. Dicha reacción requiere la combinación de un metal, un éter y un compuesto orgánico en un matraz protegido. La más mínima traza de humedad da al traste con la reacción, y para no arruinarla no se permite que penetre en el aparato el más mínimo soplo, toque de saliva o vaharada de aire. Llamas, cierres herméticos, tubos protectores de productos químicos que absorben el agua ávidamente, todo servía en un decidido esfuerzo por mantener la virginidad anhidra del contenido del matraz. La reacción de Grignard se pone de manifiesto al desprenderse una columna de burbujas de la brillante superficie del metal, y cuando yo hice la práctica, mi sistema nervioso sólo se calmó al aparecer las burbujas.

El químico prebiótico está excusado de semejante experiencia, aunque probablemente estaría dispuesto a realizar alguna de este tipo si pudiera; pero, por más diferencias que puedan existir acerca de las condiciones en la Tierra primitiva, hay consenso en cuanto a la presencia de abundante agua. Ninguna simulación prebiótica razonable puede excluirla del todo, lo cual es una desgracia, por razones prácticas. Ya hemos visto que las subunidades de nuestras grandes moléculas se unen en el transcurso de un proceso que entraña la formación de agua. Siempre que se unen dos aminoácidos, se desprende una molécula de agua. Deben liberarse dos moléculas de agua en el montaje de un nucleótido a partir de sus componentes, y muchas más al combinarse los nucleótidos para formar ácidos nucleicos.

Lamentablemente, la formación de agua en un medio lleno de ella es el equivalente químico de llevar arena al Sahara: es perjudicial y requiere un gasto de energía. No es fácil que estos procesos acontezcan de *motu proprio*. De hecho, son las reacciones inversas las que se dan de modo espontáneo. El agua ataca alegremente las grandes moléculas vitales. Se mete entre los nucleótidos, rompe los enlaces azúcar-fosfato y separa las bases de los azúcares. Estas reacciones se desarrollan en nuestras células ahora mismo. Por suerte, después de miles de millones de años de evolución, nuestro cuerpo está bien equipado para afrontar estos sucesos: hemos inventado complicados mecanismos para reparar los daños que sufren nuestras moléculas por el continuo asalto del agua.

En la Tierra primitiva, estas defensas no existían, de modo que el agua se oponía continuamente al montaje de grandes biomoléculas y atacaba a las que habían conseguido formarse. Sin embargo, es tarea del químico prebiótico demostrar que tales moléculas pudieron sintetizarse en dichas condiciones.

También se han de llevar a la práctica restricciones en cuanto a las temperaturas de reacción. La Tierra actual sirve de modelo, y, por consiguiente, las condiciones empleadas en las simulaciones prebióticas pueden variar desde el calor sahariano al frío de Siberia. Este margen de variación, aunque amplio, resulta limitado en comparación con el que tiene a mano el químico ordinario, que no se priva de sales fundidas y aire licuado.

Por último, debemos considerar el uso en las reacciones de bases (álcalis) y ácidos, otro par de contrarios, el yin y el yang de la química. Aunque se oponen y destruyen mutuamente, los ácidos y las bases fuertes comparten una antipatía común por las sustancias vivas y por los materiales derivados de ellas, como nuestras ropas. En mis primeros tiempos de investigador, los delatores agujeros de mis pantalones o, cuando me volví más prudente, de mi delantal de laboratorio acreditaban mi falta de respeto por dichas sustancias. Afortunadamente, cuando sufrí uno en mi propia piel mi sistema nervioso envió un mensaje urgente que ordenaba enjuagar la sustancia agresora lo más rápidamente posible. Nuestros tejidos prefieren un estado de equilibrio entre los dos extremos, oportunamente calificado de neutralidad.

Los químicos utilizan una escala numérica, el pH, para seguir la suerte de estas magnitudes. En esta escala, el número 7 representa la neutralidad; los números inferiores constituyen el intervalo ácido, y todos los superiores, el alcalino. La escala de pH está construida sobre una base logarítmica, como el ascensor de magnitudes y la torre de los números. Así, una disolución de pH 6 tiene una concentración de ácido diez veces mayor que una de pH 7, y una de pH 5 es diez veces más ácida que una de pH 6. Una disolución 10, a tres peldaños de 7, es mil veces más alcalina. En una disolución neutra, las cualidades alcalina y ácida son débiles y se equilibran exactamente entre ellas.

El agua pura, por sí sola, es neutra, pero se vuelve ácida o alcalina cuando se le añaden sustancias que poseen una de estas propiedades. Así, el vinagre contiene ácido acético, nuestro estómago segrega una disolución débil de ácido clorhídrico, y la «lejía» doméstica es una disolución alcalina de hipoclorito sódico.

Los procesos bioquímicos característicos de la vida en la Tierra prefieren las condiciones neutras. Nuestra sangre mantiene un pH en torno a 7,4, conocido como pH fisiológico. La mayoría de las reacciones enzimáticas y otros procesos que acontecen en el seno de nuestras células tienen su óptimo próximo a la neutralidad. Se pueden tolerar ligeras desviaciones, pero, según cabe presumir, provocan un desequilibrio en esos procesos.

Las condiciones fuertemente ácidas o alcalinas son muy perjudiciales: perturban los débiles enlaces que dan forma a nuestras moléculas, y aceleran la velocidad con que el agua inflige daños permanentes a dichas moléculas. Tales reacciones son responsables, por ejemplo, de los agujeros de mis pantalones.

Así y todo, existen microorganismos que toleran esas condiciones. Hay cepas de bacterias emparentadas con las metanógenas que pueden sobrevivir en lagos alcalinos de pH 11 o fuentes termales ácidas de pH 1; y el forro celular de nuestro estómago puede resistir una disolución de pH 2. No es que estas células sobrevivan y crezcan mediante la adopción de una química especial, sino que se protegen del medio ambiente: bombean al exterior el ácido o el álcali agresor, como un refrigerador el calor, y así mantienen unas condiciones internas próximas a la neutralidad.

Se desconoce cuál fue el pH de los mares de la Tierra primitiva, pero generalmente se acepta que no debió de andar muy lejos de la neutralidad. Por consiguiente, el químico prebiótico prudente restringirá sus condiciones a las cercanías del pH 7. Las fuentes ácidas y los lagos alcalinos brindan una excusa para el empleo de valores de pH más extremos; sin embargo, su extensión es muy limitada en comparación con el vasto océano prebiótico, de modo que las probabilidades caen en picado en lo que respecta al número de ensayos posibles cuando se apela a esos ambientes. Y, además, podemos argumentar que si el óptimo de funcionamiento de los seres vivos actuales se sitúa en condiciones neutras, es muy probable que los primeros antecesores de dichos seres se originaron en condiciones similares.

Con todas estas restricciones a la vista, atañe a la imaginación de los químicos prebióticos idear una serie de reacciones verosímiles que demuestren cómo una sencilla mezcla inicial de productos químicos puede proporcionar biomoléculas importantes. En el caso particular de la teoría del replicador aleatorio, el objetivo ha consistido en producir un medio rico en subunidades de ácidos nucleicos y adecuado para la formación por azar del replicador.

Químicos muy competentes y hábiles han trabajado en este campo. Han hecho gala de ingenio a la hora de idear reacciones, y de minuciosidad al analizarlas. Con pocas excepciones, los resultados han sido dados por buenos, pero la interpretación de los mismos es ya harina de otro costal. Una vez más, como en el caso de los experimentos Miller-Urey, hay que examinar los detalles de cerca.

La síntesis prebiótica del replicador comienza con una atmósfera reductora, del estilo de la utilizada por Miller. No nos interesan ahora los aminoácidos, sino los intermediarios más sencillos, formados inicialmente en esta atmósfera: el ácido cianhídrico y el formaldehído. Estas dos sustancias son a las recetas de reacciones primigenias lo que el aceite de oliva a la salsa de tomate en la cocina italiana.

Ambos intermediarios tienen pocos átomos. El ácido cianhídrico tiene un átomo de hidrógeno, uno de carbono y uno de nitrógeno; es el compuesto más simple que se puede preparar con estos elementos. El formaldehído es la menor molécula que cabe hacer a partir de carbono, oxígeno e hidrógeno; posee un átomo de cada uno de los dos primeros elementos y dos de hidrógeno.

Paradójicamente, aunque se recurre a menudo a estas dos moléculas para explicar el origen de la vida, hoy día se emplean como sustancias de muerte: el formaldehído se usa como conservante para el almacenamiento de muestras en los laboratorios biológicos, y el ácido cianhídrico es el agente letal de las cámaras de gas que se emplean para ejecutar a los reos.

Los dos compuestos se desempeñan bien en ambos cometidos, la vida y la muerte, y ello debido a su considerable reactividad. Se combinan fácilmente entre sí, con el agua y con muchas otras sustancias químicas; y, a falta de alternativas mejores, cada uno se combina consigo mismo. Estos compuestos se forman de manera transitoria cuando se exponen atmósferas reductoras a una fuente de energía adecuada, y luego reaccionan de diversas maneras para dar lugar a los productos clásicos del experimento Miller-Urey.

Los químicos prebióticos parten de esta observación para seguir un razonamiento característico de los que se dedican a esta especialidad. Suponen que una vez demostrada la presencia de una sustancia no importa en qué cantidad, como producto de una reacción prebiótica, se puede usar en forma pura y en cantidades mayores como material de partida de una transformación prebiótica totalmente distinta. Mediante este razonamiento, se relacionan encade-

nadamente una serie de reacciones a fin de vincular una atmósfera reductora con un replicador.

Para analizar el razonamiento descrito, he ideado un orador prebiótico imaginario, a quien llamo doctor Midas en recuerdo del legendario rey a cuyo tacto las cosas vulgares se convertían en oro. En esa misma tradición, el doctor Midas puede convertir los compuestos químicos ordinarios en genes con unos pocos gestos y unas frases elegidas con cuidado.

Dejemos que actúe y nos muestre la ruta hasta el replicador. «En la atmósfera primitiva se formó cianuro y formaldehído —señala— así que empezaremos con ellos.» Subraya que el formaldehído, expuesto en solitario a las debidas condiciones, forma una mezcla que contiene algo de ribosa. El ácido cianhídrico, bajo condiciones muy distintas, se convierte parcialmente en adenina, una de las bases importantes de los ácidos nucleicos. También se pueden preparar las bases restantes, aunque por vías más largas e indirectas. «Observe —comenta el doctor Midas— que podemos sintetizar las bases y la ribosa. Ahora, el problema siguiente es la formación de los nucleósidos.»

Se puede calentar adenina y ribosa en presencia de catalizadores adecuados para producir una mezcla que contiene adenosina, un nucleósido del ARN; pero las condiciones vuelven a ser distintas de las empleadas en etapas anteriores. «Se acabó el problema de los nucleósidos —exclama el doctor Midas—. Vayamos ahora a por los nucleótidos.»

Cuando se calienta adenosina con fosfato y catalizadores distintos de los empleados anteriormente, aparece entre los productos un nucleótido natural. Midas comenta: «Hemos demostrado que en la Tierra prebiótica podrían haberse formado nucleótidos. Ahora hemos de combinarlos para sintetizar un ácido nucleico.»

Tomando como material de partida los nucleótidos, otros procedimientos han demostrado que, en efecto, se pueden unir unas cuantas unidades. «No hay más que hablar —concluye el doctor Midas—. Sabemos que los ácidos nucleicos de una sola hebra pueden convertirse en una doble hélice cuando se les facilita las unidades adecuadas. Evidentemente, en la Tierra primigenia no hubo problemas para montar un ácido nucleico de doble hélice.»

El punto de vista del doctor Midas ha sido expuesto en numerosas ocasiones, y se ha convertido en un subparadigma de la teoría actual sobre el origen de la vida. Por ejemplo, volvemos una vez más al manual de bioquímica de Lehninger, del año 1975 (en esta

cita, los términos «pirimidinas» y «purinas» aluden a distintas clases de bases y «desoxiadenosina», a un nucleósido del ADN):

Se ha comprobado que en los experimentos que simulan la Tierra prebiótica se forman elementos de construcción de los nucleótidos: pirimidinas, purinas, ribosa y 2-desoxirribosa. Asimismo, en los experimentos de simulación de la Tierra primitiva se han detectado entre los productos resultantes nucleósidos como la adenosina y la desoxiadenosina. Cuando se calientan o irradian con luz ultravioleta nucleósidos y polifosfatos, el resultado es una mezcla de nucleótidos. Esto se ha observado también en los experimentos de simulación de la Tierra primitiva.

Escéptico ha permanecido en silencio durante toda esta exposición, si bien se le veía cada vez más inquieto, y ahora toma la palabra: «Estos experimentos demuestran sólo que un químico puede preparar hoy un ácido nucleico en el laboratorio empleando una serie de condiciones que da en llamar prebióticas. Ni siquiera se trata de un proceso continuo. Para sintetizar la ribosa no se toma el formaldehído de un experimento Miller-Urey y se purifica (lo cual, sin duda alguna, se podría hacer si se empleara un equipo moderno). En vez de eso, se identifica sin más el formaldehído como un producto intermedio presente en la atmósfera, se compra químicamente puro en un almacén y se emplea en la reacción siguiente. Este *modus operandi* se repite en cada eslabón de la cadena. Por desgracia, en la Tierra primitiva no existían equipos modernos de laboratorio, ni por supuesto químicos.»

Responde el doctor Midas: «Convengo en que hemos tomado algunos atajos; pero lo hemos hecho para ganar tiempo, pues no somos más que seres humanos y no vivimos eternamente. Nuestro deseo es desvelar en unas pocas semanas pasos químicos que en la Tierra primitiva supusieron mil millones de años.»

Escéptico pregunta al doctor Midas si la disponibilidad de mil millones de años basta para justificar este procedimiento, remitiéndose al ejemplo anterior del mono y la máquina de escribir. Toma a Midas del brazo, lo lleva al rincón donde el mono Charlie continúa aporreando como un bendito la máquina de escribir, y le pregunta: «¿Cuánto tiempo cree usted que tardará el chimpancé en telear “to be or not to be: that is the question”?»

Midas coge una página escrita por el mono y la examina. «No mucho. Mire, aquí hay una t, ahí más abajo una o... Ha mecanografiado todas las letras necesarias.»

«Pero ¿se pueden mecanografiar las letras en el orden correcto?», pregunta Escéptico.

«No hay problema. Basta con obtener los materiales adecuados.»

Midas se aleja y regresa con un racimo de plátanos y un paquete de hojas en blanco. Hace a un lado a Charlie y dispone la máquina de escribir de modo que salta de línea cada vez que se teclea una letra. Luego coloca de nuevo al mono en la silla de mecanógrafo. Charlie empieza a teclear, con Midas observándole por encima del hombro. «¡Ajá!», grita éste a los pocos segundos, deteniendo al mono. Le da un plátano, arranca la hoja de la máquina de escribir y nos la muestra. Ha mecanografiado unas dos docenas de letras, cada una al principio de una línea. La última es una *t*.

«Hemos demostrado que el mono pudo mecanografiar una *t* al comienzo de una línea», proclama Midas exultante de triunfo. «Ahora probaremos con una *o*.»

Saca una hoja del paquete. Al comienzo de cada línea ha tecleado una *t*. Pone la hoja en la máquina de escribir, ajusta el margen de modo que la siguiente letra que se teclee en cada línea caiga a la derecha de la *t*, y suelta nuevamente al mono.

Al cabo de medio minuto, grita e interrumpe al simio. Vuelve a mostrarnos la hoja. Cada línea contiene ahora una unidad de dos letras, encabezada con una *t*. Las primeras treinta no tienen sentido —*tx*, *t!*, *te*, *tt*...—, pero la última es *to*.

«¡Vaya —exclama Midas—. El mono ha mecanografiado la palabra *to*. Ahora debemos probar con el espacio.»

Personaje previsor, ha preparado con antelación una hoja con la palabra «*to*» escrita al comienzo de cada línea. Devuelve a Charlie a la máquina de escribir.

Y una hora después, al cabo de una serie de operaciones por el estilo, vemos a Midas presto a introducir la última hoja en el carro de la máquina de escribir. Lleva ésta el mensaje «*to be or not to be: that is the question*» al comienzo de cada línea. Charlie teclea obedientemente, añadiendo al azar una letra distinta a cada línea, hasta que da en la *n*, tras lo cual el doctor Midas le recompensa una vez más e interrumpe el proceso.

«Aquí tiene lo que usted quería —concluye—. Le acabo de demostrar que el mono podría hacerlo. He acelerado el proceso un poco, pero es porque hoy tengo que hacer unos recados. Dejado a su aire, el mono sólo necesitaría un poco más de tiempo. Déle tiempo suficiente y tenga por seguro que sacará el mensaje.»

Midas se aleja tras obsequiarnos con una elegante reverencia.

«Y eso les demuestra lo que intento decirles —señala Escéptico—. No fue el mono quien tecleó la frase; lo hizo Midas. Interrumpía al mono cuando mecanografiaba la letra requerida, y le daba una hoja nueva cada vez, con todas las letras correctas previamente tecleadas por el mono en cada línea.

«Los químicos prebióticos hacen lo mismo. Prueban con una serie de reacciones hasta que consiguen el compuesto que buscan. Una vez conseguido, sin importar cuántos ensayos hayan necesitado ni cuán reducida sea la producción de la sustancia deseada, se creen en condiciones de pasar a la etapa siguiente. Al hacerlo, parten de cierta cantidad del compuesto que sintetizaron, pero en estado puro, recién sacado del envase del reactivo. Sostienen que han de atajar algunas curvas para ganar tiempo.

«Pero observen la longitud de la curva que el doctor Midas ataja en el caso de Charlie. El mono necesita unos 45 segundos para golpear todas las letras del teclado. Para un mensaje de 40 letras, el tiempo total de tecleado es 45 veces 40 segundos, o sea 30 minutos. Dejado solo, Charlie habría tenido que vérselas con una probabilidad de 1 en 45⁴⁰. Como vimos hace un rato, hubiera necesitado unos 10⁵⁹ años, más o menos, para conseguir el mensaje correcto (aunque de ser muy, pero muy afortunado, podría obtenerlo al primer intento). Ningún truco barato puede hacer pasar 45 veces 40 por 45⁴⁰.»

Escéptico ha terminado, pero yo añadiré algunas notas históricas a este argumento. Experimentadores de muchas áreas de la ciencia han falseado inconscientemente sus experiencias al diseñar los aparatos para realizarlas o al influir sin darse cuenta en la conducta de los sujetos de experimentación —seres humanos o animales—. Un caso famoso, citado en los textos de psicología y muy bien contado por Carl Sagan en *El cerebro de Broca*, es el del caballo ducho en matemáticas, Hans el Listo.

Hans vivió en Alemania hacia comienzos de siglo, y era célebre por su talento aritmético. Por ejemplo, su propietario logró enseñarle a sumar 14 a la raíz cuadrada de 4 y restar 5 al total. Hans arrancaba a golpear lentamente el piso con el casco y se detenía al cabo de 11 golpes, ofreciendo así la respuesta correcta. Acto seguido, su propietario le recompensaba con un terrón de azúcar y unas caricias. De haber persistido, es evidente que podría haber inducido a Hans a realizar el cómputo completo del impuesto sobre la renta.

Tamaño talento resultaba asombroso, pero el caballo lo perdía

cuando su dueño ignoraba la respuesta o permanecía fuera del alcance de su vista. El propietario indicaba inconscientemente al caballo, mediante cambios en su tensión corporal, cuándo debía dejar de golpear. El caballo había aprendido que si se detenía en el momento adecuado recibía un azucarillo.

Volvamos al problema del replicador. ¿Podría haber aparecido por ázar en mil millones de años? Los químicos prebióticos están en lo cierto al afirmar que la obra de mil millones de años no admite una duplicación axiomática en una tarde. Pero, por otro lado, esta negación no se puede emplear para dar validez a secuencias de reacciones de una inverosimilitud monumental.

Los defensores del replicador aleatorio no parten de que la síntesis de nucleótidos fuera un suceso raro, sino más bien de que estas sustancias eran abundantes en épocas prebióticas. El paso que precisó del azar fue la combinación de los nucleótidos en un ácido nucleico.

Si fue así, resultaría fácil demostrar la profusa síntesis de nucleótidos a partir del suelo y la atmósfera primitivos. Idealmente, sólo haría falta mezclar los ingredientes adecuados, cerrar el matraz, dejarlo así por unas horas o unos días y recolectar la rica cosecha de nucleótidos.

Esto se ha hecho. Se han recorrido las distintas etapas por separado, con un rendimiento escaso y en condiciones muy dispares. Como en la realidad no se encadenan, las miraremos ahora siquiera sea en la imaginación. Yo he enlazado, en una narración continua, algunas de las síntesis prebióticas de más renombre en el ámbito de los ácidos nucleicos. He seguido, en lo posible, las sugerencias de los experimentadores, y allí donde no existen he añadido detalles por mi cuenta. El resultado final lo ofrezco en forma de versión corregida del *Relato del miércoles* que presentaba la Introducción de este libro. Para satisfacer a quienes deseen consultar los artículos técnicos que me han servido para preparar este relato, he añadido una lista de referencias a la bibliografía recomendada para este capítulo (pág. 303).

EL RELATO DEL MIÉRCOLES (REVISADO)

Hace mucho tiempo, cuando la Tierra era todavía muy joven, emergió del mar una cadena de grandes montañas que formó una isla enorme. Era volcánica, algo así como una isla hawaiana de

nuestros días, pues los continentes tal como los conocemos aún no se habían formado. A causa de la altitud y extensión de esas montañas, de los regímenes meteorológicos y de los vientos dominantes, la isla-continente albergaba diversas zonas climáticas. Las tormentas eran frecuentes en el lado lluvioso, donde el cielo estaba siempre cubierto. En las grandes altitudes, cerca de las cumbres montañosas, el agua se congelaba y la precipitación caía en forma de nieve o granizo. La atmósfera era reductora, y esas condiciones favorecían la aparición de ácido cianhídrico en las descargas eléctricas. La lluvia y la nieve eran ricas en tal compuesto químico.

De los picos más altos descendían grandes glaciares. A sus pies, durante la estación estival, se formaban lagos alcalinos, en parte congelados. En ellos se recogía el ácido cianhídrico, que reaccionaba intensamente consigo mismo hasta que llegaba el invierno, momento en que los lagos se petrificaban como hielo. Cuando se reanudaba la estación cálida, los lagos fundían en parte y la reacción se desarrollaba de nuevo. Sin embargo, hubo un año señaladísimo en el que la primavera no reapareció. Cayó más nieve en las cumbres y los glaciares avanzaron, empujando el hielo de los lagos montaña abajo. La corriente del glaciar los trasladó de la vertiente húmeda de la isla a una meseta central que era geotérmicamente activa. En este clima más suave, la lengua del glaciar se fundió y la mezcla reactiva de ácido cianhídrico fue a parar a una fuente termal ácida.

Hoy día hay fuentes termales de este tipo en zonas como Islandia y el parque de Yellowstone. En ellas viven bacterias metanógenas, aunque, por supuesto, en las remotas épocas que estamos considerando no existía aún vida. En el transcurso de unas pocas decenas de minutos, el hirviente ácido convirtió en adenina una pequeña cantidad (casi un 0,1 %) de los sólidos arrastrados por el glaciar. Al cabo de poco tiempo, el mismo ácido habría destruido la adenina, pero eso no ocurrió porque las aguas de la fuente desembocaban en una corriente más importante, y al hacerlo pasaban por suelos alcalinos que las neutralizaban.

Rara vez llovía en esta amplia meseta, y cuando lo hacía no era en forma de tormenta. Los rayos de sol hacían que se produjera formaldehído a partir del ácido cianhídrico. La lluvia de formaldehído discurría en diminutos riachuelos por una zona de la meseta central geológicamente distinta, aunque también con actividad geotérmica, que contenía hirvientes lagunas neutras cargadas de minerales en suspensión.

Cuando desembocaba un riachuelo de formaldehído en una de estas lagunas minerales se desencadenaba un proceso que lo convertía en una compleja mezcla de productos, entre los que se encontraba una pequeña cantidad del azúcar ribosa. El agua tardaba varias horas en arrastrar dicha mezcla a lo largo de la laguna, lo que dejaba tiempo suficiente para que la reacción se efectuara totalmente. A continuación, el producto fluía fuera de la laguna caliente y era arrastrado aguas abajo por un gélido torrente. Esta escapatoria no podía ser más oportuna, pues la ribosa se habría descompuesto de haber permanecido demasiado tiempo en la laguna.

Los arroyos de adenina y de ribosa confluían en la meseta central, si bien todavía no podían formar adenosina. Necesitaban un medio cálido y la presencia de sal marina. Por suerte, una fragorosa cascada los llevaba casi a nivel del mar en la vertiente árida y caliente de la isla. El factor tiempo era decisivo, pues el azúcar no era estable e iba desapareciendo.

Al pie de la cascada, la corriente se ensanchaba para formar un extenso delta. Las aguas fluían sobre distintos tipos de roca, y finalmente penetraban en una laguna de marea que quedaba aislada del océano en la bajamar. Los minerales que constituían el sustrato de la laguna tenían una afinidad especial por la adenina y la ribosa y las retenían, mientras que la mayoría de las sustancias restantes eran barridas por la marea que llenaba y drenaba la laguna.

Ocurrió durante un día especialmente tórrido. El sol, que evaporaba el agua que permanecía en la laguna, calentó la adenina y la ribosa en presencia de sal, convirtiéndolas, en parte, en el nucleósido adenosina. Y mientras ocurría esto, una violenta tormenta se desataba mar adentro, originando grandes olas.

Las olas tomaron la laguna al asalto, barrieron su contenido y lo transportaron más al interior. Éste quedó depositado en una charca, que denominaremos Charca de Darwin y que iba a ser el lugar escogido para el origen de la vida.

No bien alcanzó la adenosina la Charca de Darwin, las sucesivas olas que llegaban en distintas direcciones aportaron los nucleósidos que faltaban para fabricar el ARN. De haber sido estos compuestos químicos seres humanos, habrían festejado con júbilo este primer encuentro como anticipación del glorioso futuro que tenían por delante, y se habrían turnado para describir la maravillosa serie de acontecimientos que llevó a su propia creación. Pero no involucremos nuestros sentimientos en esta historia, y dejemos que la naturaleza prosiga la síntesis.

Se necesitaba fosfato para la conversión de nucleósidos en nucleótidos. Varios geólogos han afirmado que en la Tierra primitiva el fosfato no era fácilmente asequible, y que sólo incrementó su concentración en las aguas poco a poco, según se meteorizaban las rocas adecuadas. Sin embargo, la Charca de Darwin era una de las pocas localidades selectas bendecidas con el tipo conveniente de mineral, pues disponía de fosfato en abundancia. Así, cuando la persistente sequía evaporó la charca hasta poco menos que secarla, los nucleósidos se convirtieron en nucleótidos. El proceso se vio facilitado por un catalizador adicional, presente entre los minerales que tapizaban la charca.

Los nucleótidos tenían ahora que combinarse para formar el replicador. A este proceso contribuyó considerablemente la presencia de ciertos compuestos químicos llamados aminos, introducidos en la charca por otra avenida transitoria. De haber llegado antes, mala acogida hubieran tenido en nuestro relato, pues se habrían interpuesto en varios pasos previos.

Por entonces el clima se estabilizó. Los días siguieron tan cálidos como antes, lo bastante para secar la charca. Sin embargo, los vientos acarreaban cada noche humedad suficiente para formar una delgada película de líquido en el fondo. Estos períodos alternantes de calor y humedad brindaron a los nucleótidos la posibilidad de agruparse de diversas maneras y volver a separarse. Cierta atardecer, la casualidad hizo que se formara el replicador. Éste asumió el mando de inmediato, montando otros nucleótidos para formar copias de sí mismo con mayor celeridad de la que podían separarse. Se había creado la vida y podía comenzar la evolución.

Antes de finalizar el relato, hemos de hacer una observación acerca del nombre de la charca. Charles Darwin no hizo extensibles sus teorías al problema del origen de la vida, y se declaró públicamente creacionista. En 1863, en una carta personal al botánico Joseph Hooker, Darwin escribía que «es una pura tontería pensar hoy en el origen de la vida; también se podría reflexionar sobre el origen de la materia». Sin embargo, no pudo resistirse a la tentación de cometer esa tontería, pues en 1871 escribía de nuevo a Hooker:

Se ha dicho a menudo que ahora mismo se dan todas las condiciones para la producción original de un organismo vivo, producción que podría estar realizándose actualmente. Pero aunque pudiéramos concebir que en una pequeña charca caliente, con toda suerte de sales amoniacales y fosfóricas, con luz, calor, electricidad, etc., pudiera

formarse químicamente un compuesto proteínico presto a experimentar cambios todavía más complicados, en la actualidad dicha sustancia sería devorada o absorbida de inmediato, lo que no habría sido el caso antes de que se formaran los seres vivos.

Esta cita se ha reproducido con frecuencia en textos y artículos sobre el origen de la vida. Como hemos visto, muchos investigadores preferirían reemplazar la palabra «proteína» por «ácido nucleico». Por lo demás, estos párrafos son de una extraordinaria actualidad, lo cual es un homenaje tanto a su previsión como a nuestra falta de progreso.

Escéptico, que parecía enfermo al comienzo de este capítulo, se ha recuperado durante el relato y se revuelca por el suelo tronchado de risa. Se detiene para preguntar qué parte del relato es mía y cuál ha sido publicada en la literatura científica.

Le respondo que lo publicado es la diversidad de condiciones de reacción, así como las indicaciones para posibles emplazamientos prebióticos adecuados, como el lago helado, la hirviente laguna mineral, la laguna de marea y el ambiente desértico. Me he tenido que inventar la mayoría de los sistemas de transporte para trasladar los productos químicos de un lugar a otro, aunque los glaciares y las lluvias separadas de formaldehído y ácido cianhídrico también son detalles publicados.

«Muy imaginativo —comenta—, pero, francamente, para relato mágico prefiero el del Padre Cuervo.»

Se podrían construir otras historias para llegar al origen del replicador, empleando otros experimentos descritos en la literatura científica. Los habría menos espectaculares que los anteriores, pero todos compartirían los mismos defectos generales. Se precisan muchos eslabones, cada cual con unas condiciones específicas, y por consiguiente muchos emplazamientos geológicos distintos. Los compuestos químicos esenciales en un eslabón pueden ser nefastos en otro. Los rendimientos son escasos, con muchos productos indeseables componiendo el grueso de la mezcla. Hay que recurrir a procesos imaginarios para concentrar las sustancias importantes y eliminar las contaminantes. La secuencia completa desafía nuestra credibilidad, con independencia del tiempo asignado al proceso.

Una vez más, como en el experimento de Miller y Urey, tenemos un gran vacío entre los resultados incontestables de una serie de investigaciones y los mitos que se originan a partir de ellos. Como antes, hemos de indagar en las actitudes que se ocultan tras

los sistemas de creencias implicados. Podemos empezar con una afirmación sacada del libro de bioquímica de Zubay, de 1983: «Las primeras formas de vida contenían probablemente ácidos nucleicos aptos para almacenar la información génica. [...]. Por consiguiente, debe haber existido una vía para la síntesis de los elementos constructivos del ARN.»

Aunque redimida en parte por el uso del «probablemente», el «debe» de esta cita la sitúa más cerca de la mitología que de la ciencia. Ignora la posibilidad resumida en la siguiente formulación alternativa. Los denodados esfuerzos realizados no han conseguido desvelar vías adecuadas para la producción de existencias abundantes de nucleótidos en la Tierra primitiva; así pues, las primeras formas de vida almacenaban probablemente su información génica en algún sistema químico más sencillo que los ácidos nucleicos.

A pesar de todo, persiste la creencia en que esas vías deben existir. El principal creyente es quizás el profesor Cyril Ponnampereuma, que dirige el Laboratorio de Evolución Química de la Universidad de Maryland. Según Ponnampereuma, «nadie duda hoy día que se pueden fabricar las piezas que integran los ácidos nucleicos, por una vía que cabe calificar de natural». Quizás haya que perfeccionar un poco más la química orgánica para allanar las dificultades, pero eso, téngase por seguro, se conseguirá. La vía no funcionaba al azar: «existen propiedades inmanentes a los átomos y moléculas que parecen dirigir la síntesis en la dirección más favorable» para las moléculas de la vida.

Ponnampereuma hizo estos comentarios cuando le entrevisté en su laboratorio —en realidad, una serie de laboratorios ingeniosamente decorados con carteles del programa espacial, una exposición de fragmentos de meteorito, fotografías del aparato Miller-Urey, así como el propio aparato, y una lata con la etiqueta «sopa primordial»—. Antes de ocupar su puesto actual, Ponnampereuma había trabajado en el Laboratorio Ames de la NASA, en California, donde desempeñó un importante papel en el análisis de los compuestos orgánicos de los meteoritos. Ponnampereuma es quizás el más conocido de los científicos vivos que se dedican de lleno al estudio del origen de la vida. Fue el primer receptor de la recién creada medalla Oparin de la International Society for the Study of the Origin of Life, y en el momento en que escribo estas líneas es presidente de dicha sociedad.

Ponnampereuma es oriundo de Sri Lanka. Según cuenta el periodista Harold Hayes, estudió religión en la Universidad de Madrás

y luego se trasladó a Londres para aprender química. «A finales de los años cuarenta, Ponnampertuma se dio cuenta de que esos dos intereses tan dispares se entrecruzaban en el campo del origen de la vida», escribía Hayes. Como hemos observado, su aproximación a este tema está impregnada de un optimismo y una creencia en algún designio cósmico que parecen provenir de una fe interior.

Este designio comenzaría en el espacio exterior. Ponnampertuma expone sus sentimientos de forma harto elocuente en un comentario reciente: «Examine las moléculas interestelares y detectará cianuro y formaldehído. Ambos pueden dar paso a todo lo demás. Existe una gran sencillez en todo el esquema, tanta que parece como si el Universo entero intentara producir vida.» A causa de la actuación de esos factores favorables que conducen a nuestra propia química, «somos hermanos y hermanas de las estrellas». En la entrevista de Hayes, Ponnampertuma comentaba: «No me sorprendería que usted aterrizara en algún planeta como la Tierra y alguien de un metro y pico de alto, con dos ojos, le saliera al encuentro y exclamara: ¡Hola!» Como resumen sucinto, el que hizo en una reciente conferencia pública: «Dios mismo debe de ser un químico orgánico.»

Este punto de vista es uno de los que nos encontrábamos en nuestro examen del experimento Miller-Urey y calificábamos de predestinación. Como señalábamos entonces, no podemos excluir la posibilidad de que las leyes del Universo estén arregladas a nuestro favor; no se nos podría prestar mayor cumplimiento. Sin embargo, hoy por hoy esta actividad no tiene más fundamento que la fe, pues los datos que se conocen no la apoyan. Las moléculas interestelares, por ejemplo, pueden dar paso a todo lo demás, como indica Ponnampertuma, pero yo haría hincapié en el *todo*. A la larga, cabría construir todo el «Beilstein» con dichas moléculas. Cuando examinemos las teorías de sir Fred Hoyle, veremos cuán lejos podemos llegar si dejamos que estas sustancias nos exciten la imaginación.

Una estimación mucho más pesimista de las perspectivas de la hipótesis del gen desnudo podría ser la de Leslie Orgel. Nos cruzamos con él anteriormente, en relación con su modelo para el estudio de la reproducción del ARN sin catalizadores. Orgel es autor, junto con Francis Crick, de un artículo sobre la panspermia dirigida, tema del que nos ocuparemos en breve. Ha realizado aportaciones teóricas en numerosos dominios de las ciencias biológicas, sobre temas que van desde la teoría del envejecimiento y la mutación hasta

el ADN egoísta. Lo más interesante por lo que a nosotros respecta es el hecho de que buena parte de los mejores trabajos sobre la síntesis prebiótica de los ácidos nucleicos procede de su laboratorio en el Salk Institute de California. Al resumir el estado de estas investigaciones, Orgel es de una claridad meridiana: «No se ha conseguido la síntesis de azúcares en condiciones admisibles, como tampoco su incorporación en nucleósidos. Mientras este problema no sea resuelto o soslayado, subsistirá la debilidad de las teorías de la síntesis abiótica de los ácidos nucleicos. El origen de los nucleósidos sigue siendo, en mi opinión, uno de los principales problemas de la síntesis prebiótica.»

Cuando coincidí con él en una conferencia en Detroit, en 1983, Orgel estaba dispuesto a admitir que las dificultades de la síntesis prebiótica de los ácidos nucleicos eran abrumadoras. Sin embargo, acto seguido añadió: «Las hay igualmente abrumadoras en todas las teorías.» Orgel conoce muy a fondo la investigación en este campo y, en muchos puntos, podría ser un sustituto perfecto de nuestro amigo Escéptico. Pero en ocasiones toma un rumbo distinto: «Sospecho que existe una solución para este enigma, aunque no sé cuál pueda ser.» Le gusta señalar que la mayor parte de los rubíes de la Tierra se encuentran en una montaña de Birmania, producto de una improbable serie de transformaciones en el ámbito de la química mineral. No podemos conocer todas las sustancias que pueden haber sido abundantes en la Tierra primitiva, y quizás una de ellas, algún mineral mágico, tuvo las propiedades justas para hacer que se dieran las reacciones necesarias para crear un ácido nucleico.

Como señala Leslie Orgel, quizás exista una solución fácil y hasta ahora la hemos pasado por alto. Queda por ensayar un número inmenso de combinaciones de minerales y otras sustancias químicas, y quizás una de ellas nos descubra dónde está el truco. Sin embargo, mientras no aparezca la combinación, la idea de un gen desnudo de ácido nucleico debe considerarse pura especulación o materia de fe, según la persona que la proponga. Mientras tanto, vale la pena examinar otras soluciones, y así lo haremos.

A modo de resumen de este tema, me gustaría citar a Graham Cairns-Smith, cuya teoría recabará nuestra atención un poco más adelante:

Realmente son muchos los experimentos interesantes y detallados realizados en este campo. Pero, a mi juicio, la importancia de

este trabajo radica no en demostrar cómo pudieron haberse formado los nucleótidos en la Tierra primitiva sino precisamente en lo contrario: estos experimentos nos permiten comprobar, con mucho más detalle del que por otros medios hubiera sido posible, que los ácidos nucleicos prebióticos son muy improbables.

Si esa conclusión es correcta, entonces la vida empleó otro sistema genético antes del advenimiento de los ácidos nucleicos. Y aun cuando no existe indicio alguno en lo que a su identidad se refiere, no faltan especulaciones que nos muevan a reflexión. Pásemos al examen de las más notables.

VIII. BURBUJAS, FORMAS ONDULADAS Y LODO

La evolución requiere un sistema molecular capaz de almacenar información y de proporcionar variantes ocasionales como fuente de posible mejora. Sabemos cómo se desenvuelven los ácidos nucleicos modernos en esta función; pero, lamentablemente, su complejidad química hace inverosímil que se formaran por procesos espontáneos y que estuvieran presentes en los comienzos de la vida. Así pues, ¿qué otro sistema se ocupó de esa función en los primeros tiempos? Ésta es una pregunta crítica para el origen de la vida.

Por supuesto, hay hipótesis y especulaciones a manos llenas. Pero de todas las teorías en competencia ninguna se ha llevado la victoria. A todas les ha faltado la demostración decisiva que habría convencido a los contrarios, o como mínimo a los observadores imparciales. Estas teorías, muy diferentes en detalle, tienen además otra característica «en común»: cada una parte de su propia concepción de la Tierra primitiva. Al leerlas una tras otra en el curso de mi investigación, estas descripciones se fundieron en mi mente, componiendo una imagen compleja de nuestro planeta en sus primeros años. Era un lugar yermo, horripilante, un erial de burbujas, formas onduladas y lodo. Cada uno de estos detalles representa una concepción distinta del origen de la vida, y los estudiaremos por separado.

BURBUJAS

Nuestro primer escenario es un mar o una laguna lleno de minúsculas estructuras a modo de burbujas, de tamaño bacteriano. Sin embargo, no son bacterias, ya que están hechas sólo de proteí-

nas, o, para ser más exactos, de proteinoides, es decir, sustancias afines a las proteínas que se forman al calentar una mezcla de aminoácidos. A pesar de esta cortapisa en su composición, dichas estructuras, llamadas microsferas, presentan numerosas propiedades características de la vida. Catalizan reacciones químicas y poseen superficies que recuerdan las membranas. En ciertas condiciones, pueden generar respuestas eléctricas que evocan las de las células nerviosas modernas. Y, lo que es más importante, pueden proliferar y tienen la capacidad de evolucionar por selección natural. Al hacerlo, producen por vez primera los compuestos químicos cruciales para la vida actual: las proteínas y los ácidos nucleicos. Ésta es la visión de Sidney Fox, que dirige el Institute for Molecular and Cellular Genetics de la Universidad de Miami.

Durante el último cuarto de siglo, el profesor Fox ha sido el partidario más señalado de la posición «las proteínas primero» en el origen de la vida. Ha combatido vigorosamente el concepto del gen desnudo, afirmando que «el ADN surgió del sistema vivo; no fue el resultado de un acto independiente de creación especial [...]». La molécula hereditaria de ADN tuvo que surgir en sistemas celulares en los que ya existían proteínas estructuradas.»

Hoy día Fox es un setentón, pero sigue todavía en activo, investigando y organizando simposios que promueven esta hipótesis. En 1983, por ejemplo, presidió en Detroit una sesión de la American Association for the Advancement of Science, que tuvo al ecólogo y candidato presidencial Barry Commoner de orador. Esta reunión motivó titulares en la prensa del tipo «Se desacredita el papel del ADN» en el *Detroit Free Press*, y «La investigación sale en defensa de la evolución tardía del ADN» en el *Chemical and Engineering News*. Desde luego, este punto de vista es el mismo que yo encontraba atractivo en un capítulo anterior.

Sidney Fox no ha hecho de mero aglutinante del grupo «las proteínas primero», sino que ha defendido el particular sistema de las microsferas —experimentado por vez primera en su laboratorio a finales de los años cincuenta— como la solución al problema del origen de la vida. Huelga decir que esta posición le ha convertido en centro de controversia. Su sistema ha merecido el favor de los medios de comunicación y de diversos textos, muy especialmente de la archiutilizada *Bioquímica* de Lehninger, que lo califica de extraordinario. Por otro lado, ha concitado vehementes críticas, desde las del químico Stanley Miller y los astrónomos Harold Urey y Carl Sagan hasta las del creacionista Duane Gish. No existe quizá ningún

otro punto en la teoría del origen de la vida que pueda suscitar tanta armonía entre evolucionistas y creacionistas como la que manifiestan ambos al oponerse a la aplicabilidad de los experimentos de Sidney Fox.

Cuando entrevisté al controvertido profesor Fox durante una reciente reunión sobre el origen de la vida, me pareció cortés, franco y bastante generoso con su tiempo. Estaba deseando hablar de la historia de sus propios esfuerzos y del problema del origen de la vida en general. Cuando le pregunté acerca de las críticas que se le dirigían, recordó una anécdota ocurrida cuando un amigo muy allegado andaba preparando una biografía suya: «Durante muchos años, él había creído que yo me sentía molesto por las críticas que recibía.» Pero «revisando algunos artículos, cambió de opinión y consideró que yo no me sentía suficientemente molesto». Fox comentó con pesar: «Me gustaría pensar que la ciencia es sólo una grande y agradable hermandad [...]. Sin embargo, no es así, la gente tiene que meter por medio sus emociones.»

¿Por qué tenía que despertar Fox esas reacciones? Quizá porque, según él, había resuelto en buena medida el problema del origen de la vida. Fox se refirió a otro científico que había publicado una extensa teoría que bosquejaba importantes cuestiones todavía por examinar: «¿Cómo se sentirá cuando averigüe que hemos respondido a estas cuestiones?»

Fox tenía mucha confianza en la validez de sus respuestas. Comentó: «Creo que la evolución ha seguido un camino muy angosto, muy determinado. Se está en la pista evolutiva o no se está.» Citó su propio laboratorio y quizá media docena más, como ejemplo de los que andaban por el camino acertado. «Los demás se mueven en el contexto de “el ADN primero” o de la aleatoriedad, que son ideas afines. Y a pesar de que han dominado la escena, no creo que nos hayan ganado en ningún terreno.»

Escéptico tiene algo que decir en este punto de nuestro relato. Subraya que, con independencia de cualquier sentimiento personal que pueda haber de por medio, el valor de este sistema debe venir determinado en último término por los propios experimentos. De modo que deberemos prestar atención a los detalles.

Hemos visto que muchos experimentos, empezando por el de Stanley Miller y Harold Urey en 1953, han demostrado la pronta formación de ciertos aminoácidos bajo condiciones primigenias verosímiles. Las mezclas de aminoácidos no tienen ninguna propiedad característica de la vida. Sin embargo, cuando se unen en lar-

gas cadenas proteínicas de formas muy específicas, los aminoácidos pueden formar enzimas. Los enzimas son elementos vitales de los sistemas vivos, pues multiplican considerablemente la velocidad de las reacciones químicas importantes para los procesos de la vida.

Los aminoácidos no se unen con facilidad para formar péptidos (cadenas proteínicas cortas) y proteínas cuando hay agua presente. De hecho, los detalles del balance energético mandan que ocurra lo contrario. En presencia de agua, los péptidos y las proteínas se desintegran lentamente en aminoácidos. La situación sugiere el remedio: para unir aminoácidos, caliéntelos en seco, de modo que el agua desprendida en su unión desaparezca.

Sin embargo, este remedio resultó deficiente cuando se llevó a la práctica. «Los bioquímicos sabían que cuando se calienta una mezcla de aminoácidos en la proporción hallada en las proteínas, el resultado es la pirólisis y la formación de un alquitrán pardo oscuro, de olor desagradable», comentaba el químico William Day. Es en este punto donde Sidney Fox puso su grano de arena. Fox se saltó las recetas al uso y añadió cantidades extra de tres aminoácidos particulares. Estas mezclas, calentadas en seco muy por encima del punto de ebullición del agua, daban preparados limpios, en los que los aminoácidos se habían unido entre sí.

Pero los productos obtenidos no eran proteínas naturales, aunque estuvieran hechas de aminoácidos. Los susodichos aminoácidos extra contenían un radical amino o ácido adicional, y, aunque en las proteínas naturales estos grupos extra no intervienen en la formación de la cadena, sí lo hacían durante el proceso de calentamiento. El resultado eran cadenas anormales, incluso ramificadas. Además, algunos aminoácidos se habían convertido en la forma D correspondiente, de modo que en el producto final coexistían formas D y L. Otros aminoácidos se transformaron en sustancias coloreadas, las cuales quedaban incluidas en las cadenas. Así pues, el producto resultante recibió el nombre de «proteinoide», para diferenciarlo de las proteínas existentes en los seres vivos terrestres.

Se juzgó que los proteinoides merecían ser estudiados, pues tenían propiedades muy interesantes. Por ejemplo, diversos preparados mostraban una débil actividad catalítica en ciertas reacciones químicas, si bien —hay que insistir— dicha actividad no era muy superior a la que poseía la propia mezcla de aminoácidos antes de calentarla. Mucho más sorprendentes, sin embargo, eran las transformaciones manifestadas por ciertos tipos de proteinoide cuando se les trataba con agua caliente en ciertas condiciones. Uno de esos

tratamientos consistía en disolverlos en agua caliente y dejar que la disolución se enfriara lentamente. Por tan sencillísimo procedimiento se obtenía un gran número de microsferas: diez mil millones de ellas se pudieron preparar a partir de un solo gramo de proteinoide.

Debemos anotar aquí que las microsferas brindan una magnífica ilustración de la frase «visto y no visto». Se pueden disolver rapidísimamente cambiando la acidez de la disolución en la que se formaron, o añadiendo más agua a la misma. Fue esta fragilidad lo que me sugirió la analogía de la burbuja. No obstante, si se evitan tales medidas, las microsferas se conservan y pueden ser manipuladas durante períodos de tiempo considerables. Con ellas se han llevado a cabo extensas y minuciosas investigaciones a fin de explorar sus propiedades.

Una característica de las microsferas que llama de inmediato la atención es su parecido con ciertos organismos unicelulares, tanto en tamaño como en aspecto. En sección transversal son como bacterias, con compartimientos internos y límites exteriores tipo bicapa que hacen pensar en membranas. Otras preparaciones tienen un aspecto similar a los microfósiles de cianobacterias primitivas. Además, las preparaciones de microsferas contienen unidades fusionadas, una disposición que recuerda la división celular. Pero el propio Fox se muestra prudente a la hora de interpretar esta capacidad de dividirse en dos: «Esta tendencia se observa también en las gotitas de sopa, de mercurio, de aceite, así como en las gotitas de vidrio fundido en la Luna.»

Mientras asistía a una reciente reunión de la American Association for the Advancement of Science, me topé con una fotografía preciosa de lo que supuse eran microsferas de proteinoide: la foto mostraba diminutas formas microscópicas circulares, algunas fusionadas, suspendidas contra un fondo transparente. Pero en realidad no eran proteinoides, sino partículas de ceniza volcánica del volcán del Mount St. Helens. Habían sido arrojadas al aire como lava fundida, y adoptaron forma esférica antes de endurecerse, a causa de la tensión superficial. El cristalógrafo J. D. Bernal, reparando en la diversidad de formas existentes en la naturaleza, ha comentado que las adoptadas por las microsferas no son infrecuentes. Concluía que «todo parecido con los organismos vivos, como la presencia de dobles esferas, que sugiere algún tipo de fisión, probablemente es fortuito».

Sidney Fox y sus colaboradores no están de acuerdo. Creen que las numerosas propiedades «biológicas» exhibidas por las mi-

croscopas, junto con su aspecto, las consolida como objetos de importancia. Se han obtenido listas de datos sobre la respuesta de las microsferas a los colorantes empleados en las bacterias, su actividad catalítica, sus propiedades como membrana, su actividad eléctrica, su sensibilidad a la luz, e incluso su reproducción. Como muestra, examinaremos esta última propiedad, citando a Fox directamente: «Las microsferas se reproducen de una manera primitiva, que entraña un crecimiento análogo al de un cristal. Lo hacen merced a diversos procesos: fisión binaria, formación de microsferas a modo de yemas seguida de separación, crecimiento de los brotes independientes, y también mediante lo que parece esporulación y partición.»

En los experimentos de gemación, se coloca las microsferas en disolución con proteinoides. A medida que progresa la acreción de proteinoide en la superficie de la microesfera, ésta crece y forma yemas. La agitación mecánica de la suspensión hace que las yemas se suelten. Y cuando se coloca a éstas en una nueva disolución de proteinoide, crecen, «originando una segunda generación».

Al resumir este comportamiento, el profesor Fox y sus colaboradores gustan de comparar las microsferas con células primitivas. En algunas de sus declaraciones, se pone de manifiesto cierta fe en que las microsferas podrían evolucionar incluso hasta las células presentes: «Por consiguiente, creemos que las microsferas de proteinoides son capaces de evolucionar hasta una célula actual, aunque esa capacidad no ha sido todavía plenamente demostrada.» En otros momentos, sin embargo, advierten que las microsferas son sólo un modelo, una simulación, de las células primitivas. Ocultan esta ambigüedad añadiendo el prefijo «proto» (que significa mínimo, incompleto o primitivo) a las propiedades que describen. Así, escriben sobre protocélulas, protoorganismos, protorreproducción, protometabolismo, protoevolución y protosexualidad.

En ciertas condiciones de laboratorio, las microsferas independientes se fusionan e intercambian material. Se consideró que este fenómeno estaba relacionado con «el origen de la protosexualidad en las protocélulas», y en una revisión posterior se calificó el fenómeno de «modelo del origen de la comunicación». Resumiendo éstas y otras manifestaciones, Fox afirmaba: «Se ha sistematizado un protoorganismo en el laboratorio. Por otra parte, queda por realizar todavía la demostración plena de la capacidad de evolucionar hasta una célula contemporánea.»

Si se llegara a aceptar esta interpretación, las conclusiones an-

teriores supondrían por sí solas una enorme contribución al conocimiento científico de la naturaleza del proceso de la vida. Pero se ha llevado su pretendida trascendencia aún más allá. La formación de microsferas ha sido presentada como el acontecimiento determinante del origen de la vida en la Tierra primitiva:

Los trabajos de diversos investigadores, sobre todo biólogos del espacio, apuntan a que la Tierra primitiva fue «una selva» de compuestos orgánicos. Parejo fundamento tiene la idea de que la superficie de la Tierra primitiva ofrecía un rico césped de macromoléculas surtidas, sobre todo proteinoides térmicos. Cuando se agregaron, al toque del agua, estos últimos se convirtieron en individuos sujetos a selección darwiniana.

Estas protocélulas, con un sistema de reproducción muy primitivo, habrían desarrollado en el curso de la evolución la capacidad de fabricar auténticas proteínas, así como ácidos nucleicos. Según esta hipótesis, la célula moderna habría aparecido de un modo gradual.

La viabilidad geológica de la formación de microsferas fue el foco de muchas de las críticas que inicialmente se hicieron al grupo de Fox. ¿Pudieron darse temperaturas de 150 a 180° C en la Tierra primitiva? Y si se dieron, ¿habrían sobrevivido los aminoácidos y otros compuestos a una exposición prolongada a ellas? En un artículo de 1959, Stanley Miller y Harold Urey llegaban a la conclusión de que no, afirmando: «Es difícil imaginar cómo los procesos aducidos por Fox podrían haber sido importantes en la síntesis de compuestos orgánicos.»

Tiempo después, Miller, en un libro escrito conjuntamente con Leslie Orgel, se preguntaba «si existen lugares en la Tierra actual, con temperaturas de ese orden, donde pudiéramos dejar caer, por ejemplo, 10 gramos de una mezcla de aminoácidos y obtener una cantidad significativa de polipéptidos [...]. No podemos concebir un solo lugar así.»

La Segunda Conferencia Internacional sobre el Origen de la Vida, la celebrada en Florida en 1963, aquella en la que se conocieron personalmente Oparin y Haldane, estuvo organizada por Sidney Fox. Él y sus colegas presentaron los datos sobre su sistema en varias ponencias de la conferencia, y hubo un fuerte disenso en lo concerniente a la posibilidad de que tales eventos pudieran darse en la Tierra primitiva. Carl Sagan, por ejemplo, declaró: «Me gustaría ver un cálculo de órdenes de magnitud que asig-

nara una probabilidad a cada escena del guión, y diera una idea de la abundancia total de polipéptidos a escala de tiempo geológico.» (¡Ojalá hubiera hecho extensible esta petición al gen desnudo!) El geólogo J. R. Vallentyne agregó con posterioridad, refiriéndose a la propuesta prebiótica de Fox: «Cada vez que un geólogo oye hablar de ella, siente como si le pincharan, y es lógico que las personas que piensan en términos de historia de la Tierra experimenten una reacción de este tipo frente a dicha teoría.»

El profesor Fox y sus colaboradores han demostrado agilidad y flexibilidad al tratar de responder a estas críticas. En un principio, propusieron los bordes de los volcanes como lugares que podrían ofrecer las temperaturas necesarias para la formación de proteínoides; éstos serían arrastrados posteriormente por la lluvia y convertidos en microsferas. Para ilustrar este concepto, se recogió una muestra de lava en una zona volcánica de Hawai y se llevó al laboratorio del profesor Fox, procediéndose seguidamente a la preparación de las microsferas en una depresión de la lava en cuestión.

Tiempo después, el escenario fue ampliado a otros enclaves. Se descubrió que podían emplearse temperaturas más bajas (85° C) para sintetizar proteínoides, con la condición de que el período de calentamiento pasara a ser de meses en lugar de horas. Así, los desiertos más tórridos de la Tierra se unieron a los bordes de los volcanes como lugares que podrían proporcionar el calor necesario.

Cuando le entrevisté en 1983, el profesor Fox mencionó otra posibilidad, relacionada con descubrimientos actuales. Apuntó que las chimeneas termales del fondo del océano Pacífico podrían ofrecer las temperaturas necesarias sin gran dificultad. Allí podrían formarse aminoácidos que luego se calentarían para producir proteínoides. Hizo una pausa momentánea cuando le pregunté cómo se lograrían las imprescindibles condiciones de calor seco en el fondo del mar. Y entonces dejó caer la idea de que pudo formarse un tapón sólido de aminoácidos en la boca de una de las chimeneas. Como el agua sobrecalentada no herviría en las proximidades de esta zona, los aminoácidos se transformarían en proteínoides. Posteriormente, el tapón se desprendería. El procedimiento completo quizá no funcionara más de una vez de cada diez, pero esa proporción de éxitos sería suficiente.

Aparte del problema de la localización, se han planteado otras cuestiones en lo concerniente al argumento de las microsferas. ¿Cómo se consiguieron las necesarias concentraciones de aminoá-

cidos? ¿Estaban presentes en la Tierra primitiva los imprescindibles aminoácidos especiales? ¿Dificultarían el proceso las sustancias químicas de distinta naturaleza que también pudieran hallarse presentes? ¿No se disolverían las microsferas, de haberse formado, en contacto con el agua dulce? De todos modos, cualquiera que sea la verosimilitud de las diversas etapas, debe repararse en que son mucho más simples que los preparativos prebióticos propuestos para los ácidos nucleicos, que han recibido muchas menos críticas.

Yo sugeriría que dejásemos de lado la cuestión de la viabilidad prebiótica de las microsferas, pues la eclipsa otro interrogante mucho más importante: ¿es realmente posible preparar una célula primitiva con cierto número de propiedades de la vida, y presta a evolucionar, en dos pasos (calor y adición de agua) y a partir de una mezcla, cualquier mezcla, de compuestos químicos sencillos?

Hemos invertido capítulos enteros en argumentar por qué es extraordinariamente improbable que pueda surgir una estructura con ese grado de organización interna. A decir verdad, Sidney Fox debe convenir con este argumento, ya que propone que la información necesaria para la construcción de su protocélula está ya presente en la mezcla original de aminoácidos. Cuando los aminoácidos se combinan al exponerlos al calor, no lo hacen al azar, sino guiados por sus preferencias químicas individuales. Este proceso se traduciría en la formación de una protocélula, lista para evolucionar por selección natural.

Si se aceptara esta explicación, buena parte del misterio sobre el origen de la vida desaparecería. Habríamos aprehendido la naturaleza de las etapas esenciales. Si se ha seguido concretamente esta receta u otra equivalente, más acorde con las condiciones reales de la Tierra primitiva, eso ya sería cosa de detalle histórico. El principio fundamental estaría ya descifrado. Pero ¿cuál sería exactamente este principio fundamental? La pregunta tiene su miga.

Para explorar la cuestión, quizá sea mejor que dejemos de lado los aminoácidos y recuperemos a nuestro animal favorito, el mono Charlie, con su máquina de escribir. Calculábamos antes que si Charlie tecleaba al azar, lo más probable es que las estrellas llevaran tiempo ha reducidas a cenizas para cuando él mecanografiara el mensaje «*to be or not to be: that is the question*». Así que «desaleatoricémoslo». Habremos de plantearnos cómo hacerlo, porque existen innumerables maneras de apartarse del azar.

Introduciremos un elemento de realidad y dotaremos a Charlie

de cierta predisposición a emplear la mano derecha. Supongamos que golpea el lado derecho del teclado algo más que el izquierdo. ¿Mejoran nuestras posibilidades con este determinismo? No, en todo caso empeorarán, pues la mayoría de los caracteres que componen el mensaje están en el lado izquierdo. El determinismo no es necesariamente mejor. En cambio, las posibilidades aumentarían si Charlie se inclinara por la mano izquierda. Así y todo, se hallan tan radicalmente alejadas de nuestro deseado mensaje que todavía es fabulosamente improbable que tenga mecanografiadas esas palabras para cuando las estrellas hayan desaparecido.

Para que la empresa tenga éxito, el alejamiento de Charlie de la aleatoriedad ha de estar guiado por una fuerza organizadora. El doctor Midas cumplía ese cometido cuando daba el alto a Charlie una vez éste había tecleado la letra correcta. No obstante, el plan del doctor Midas podría haberse desbaratado si Charlie hubiera tecleado tan deprisa como para acabar la línea antes de que se pudiera juzgar si la primera letra era la correcta.

Los aminoácidos no son abstracciones; a buen seguro que se combinan con cierto grado de determinismo cuando se calienta una mezcla de ellos. Sería de esperar idéntico resultado de cualquier combinación de compuestos químicos reales. Ahora bien, los aminoácidos son tontos, más aún que nuestro mono. No existe más conexión manifiesta entre la condición que hace que se unan mediante calor seco y una célula primitiva pero funcional que la que hay entre los dedos alocados de un mono y el resultado deseado, la prosa de Shakespeare. Sin embargo, algunos científicos competentes creen que este suceso se ha dado, sin duda alguna, al menos en el caso de los aminoácidos. ¿Qué pasa aquí?

La manera como yo he enfocado el problema consiste en preguntarme qué pasaría si viera que un mono se acerca a una máquina de escribir y teclea frases con sentido, entre ellas la de *Hamlet*. Concluiría que alguien ha manipulado la máquina de escribir o ha enseñado al mono, o ambas cosas a un tiempo. En el ejemplo químico, los elementos correspondientes son los aminoácidos y las leyes químicas que gobiernan el proceso de calentamiento. Si con ello basta para crear una célula primitiva, entonces alguien ha dispuesto las leyes de la química de modo que operan a nuestro favor.

Ya conocíamos esta forma de razonar en capítulos anteriores, cuando analizábamos las reacciones al experimento Miller-Urey y la idea subyacente al diseño de los experimentos prebióticos. Aquí nos encontramos de nuevo las mismas suposiciones: una muestra

de lo que he dado en llamar predestinación. Esta línea de pensamiento asume que las reglas que gobiernan la unión de los aminoácidos durante el proceso de calentamiento tendrán necesariamente como resultado combinaciones con propiedades útiles para la vida. Como señalábamos antes, es improbable que esos resultados deseables sean producto de la buena suerte. Se parte de una presunción no explícita, de carácter esencialmente religioso: el Creador ha dispuesto las cosas de ese modo.

Claro está, este postulado cae fuera del ámbito de la ciencia. Quizá, si fallaran todas las demás explicaciones, no nos quedaría a la postre más opción que aceptar la existencia de fuerzas sobrenaturales. Pero mientras no llegue ese momento, hemos de buscar vías racionales para justificar los datos.

Una simple alternativa consiste en suponer que las propiedades de las microsferas son menos importantes de lo que se pretende. Imaginemos, por ejemplo, que nuestro mono mecanografió una frase con más números que letras, y no un fragmento de Shakespeare. El hecho no sería aleatorio, aunque sí intrascendente; indicaría sólo que tuvo preferencia por la parte superior del teclado. De igual modo, las diversas propiedades manifestadas por las microsferas —división, débil actividad catalítica, frontera bilaminar, señales eléctricas, etc.— pueden ser propiedades un tanto generales de las partículas microscópicas de cierto tamaño, y no estar relacionadas con los verdaderos procesos de la vida, o estarlo mínimamente.

Cuando niño, aprendí que podía hacer la sombra de un perro con la mano. Sólo necesitaba dirigir el pulgar hacia afuera, doblar el índice hacia la palma y colocar la mano delante de una lámpara para proyectar la imagen de la cabeza de un perro en la pared. Podía acentuar el efecto moviendo el meñique al tiempo que emitía ladridos. Pero esa silueta no era un perro, ni podría nunca llegar a serlo; era simplemente un juego de sombras. Por lo mismo, las propiedades de las microsferas, aunque entretenidas, quizá no sean más que un juego de sombras chinescas.

De hecho, existe toda una retahíla de partículas diminutas con hipotéticas propiedades como las de la vida, cuya historia aparece recogida en el libro de William Day sobre el origen de la vida. En 1892, por ejemplo, el biólogo alemán Otto Bütschli trató gotitas de aceite de oliva con un álcali y obtuvo minúsculas estructuras amebiformes que se movían y englobaban partículas. En los primeros años de este siglo, Stéphane Le Duc, profesor de la Escuela Médica de Nantes (Francia), preparaba formas que recordaban algas y pe-

queños hongos, a partir de compuestos inorgánicos. Bautizó su obra como la nueva ciencia de la «biología sintética». Sus partidarios llevaron más allá sus pretensiones, convirtiendo gelatina, glicerol y sal en «células» que, se decía, tenían todas las propiedades de la vida. Según ellos, estas transformaciones se conseguían mediante la misteriosa energía del recién descubierto radio.

Demostraciones de tal guisa continúan en el presente, lo que suscita ciertos interrogantes sobre si los imitadores del profesor Fox no estarán haciendo más daño a su causa que sus propios detractores. Por ejemplo, en la reunión de 1983 de la International Society for the Origin of Life, en Mainz (Alemania), se presentaron dos equipos compitiendo entre sí, cada cual con su propio cartel anunciador.

Un grupo hindú, con Krishna Bahadur como director de una lista de veintiséis colaboradores, anunciaba las virtudes de las *jeewanu*, microestructuras que tomaban ese nombre del término sánscrito que significa «partículas de vida». Innumerables fotografías documentaban el aspecto celular de las *jeewanu*. Se podían preparar exponiendo toda una gama de mezclas químicas a la luz solar (una receta típica utilizaba sustancias minerales y formaldehído). Además del aspecto celular, las *jeewanu* tenían «propiedades tales como crecimiento desde el interior, multiplicación mediante yemas» y «actividades metabólicas». Por si fuera poco, mostraban actividad enzimática y fotosintética, y eran sensibles a antibióticos y fármacos sulfurados. Se las calificaba de «protocélulas».

Un expositor japonés, en la misma reunión, hacía publicidad de las propiedades de los «marigránulos». Al igual que las microsferas, estaban hechos de aminoácidos, si bien se partía de una mezcla muy distinta de la empleada por el grupo de Fox. Se podían preparar calentando fuertemente los aminoácidos en un medio líquido cuya composición se asemejaba a la del agua de mar, de modo que no se precisaba calor seco. Los marigránulos tenían el tamaño y el aspecto celular adecuados, y se consideraban «modelos de partículas organizadas, formadas en el mar primigenio en el transcurso de la evolución química». También se podían preparar marigránulos calentando azúcares en lugar de aminoácidos. Pero los enlaces químicos obtenidos en el seno de los marigránulos guardan escasa relación con los que se dan en la vida actual.

Resultado de la competencia en auge es quizá la multiplicación de las pretensiones en cuanto a propiedades de todos estos preparados «vivos». Hace varios años, un grupo alemán utilizó una mez-

cla de aminoácidos similar —aunque no igual— a la empleada para las microsferas, y obtuvo partículas fluorescentes, más grandes. Por su forma y tamaño, se compararon con células eucarióticas: «Son unas diez veces mayores que las microsferas y parecen desarrollar cubiertas y paredes más complejas, con tendencia a componer estructuras sólidas, de tipo hístico.» El grupo en cuestión afirmaba además que «se podían diferenciar distintos tipos de células en las estructuras». Sus formas «parecían tejidos vegetales». Concluían que «resulta verosímil que los procesos puestos de relieve por nuestro experimento fueran sucesos naturales en la joven Tierra».

A este respecto, cayeron en una desgraciada comparación: «Las luminisferas se parecen no sólo a las microsferas de Fox, sino también a la *Isuasphaera* microfósil de las cuarcitas de Isua (Groenlandia), de 3.800 millones de años de antigüedad.» Como hemos visto, la *Isuasphaera* parece ser una vulgar inclusión mineral que no tiene nada de fósil.

En cualquier caso, esta pretensión de haber preparado tejidos a partir de aminoácidos ha sido superada por el grupo de Fox, que ha comparado sus microsferas con células nerviosas. En una reunión de 1983 se comparaban las pautas eléctricas que resultan de colocar electrodos en una preparación de microsferas con el trazo de las ondas cerebrales obtenidas en un mono dormido.

En mi propia entrevista con Sidney Fox, éste me habló lleno de entusiasmo de dicho hallazgo, calificando el fenómeno de «excitabilidad» y atribuyéndolo a la membrana de sus protocélulas:

Con una célula artificial que muestra pautas de excitabilidad indiferenciables, cualitativa y cuantitativamente, de las que se obtienen en neuronas cerebrales o de cualquier otro tipo, estamos en el buen camino para comprender el origen de la mente. El origen de la vida y de la mente son sinónimos. Las raíces de una y otra parecen estar en una membrana pigmentada de aminoácidos polimerizados térmicamente.

La última frase es el término que el profesor Fox empleó para definir los preparados que había estado investigando.

No voy a comentar este punto en particular para no herir los sentimientos de ciertas microsferas pensantes, pero algo se ha de decir acerca de la situación en conjunto. Así que pediremos a Escéptico que exponga su punto de vista.

Escéptico señala que la larga lista de propiedades «como las de la vida» no demuestra que un sistema esté vivo o sea capaz de vivir.

Por lo general, quienes preparan estos sistemas se cuidan de evitar tales expresiones recurriendo a prefijos como «proto» o al término «modelo». Cuando dichos sistemas resultan de tan fácil preparación, lo que se demuestra en realidad es que sus propiedades tienen una importancia secundaria, y que las propiedades realmente importantes son las que diferencian tales modelos de los verdaderos sistemas vivos.

La situación tiene su parangón en los sorteos organizados por ciertas cadenas de hamburgueserías de Estados Unidos. Para obtener un premio importante, el ganador ha de componer una imagen a partir de, por ejemplo, nueve piezas. Quienes participan opinan que es fácil reunir hasta ocho piezas. El entusiasmo y la excitación crecen rápidamente, y son muchas las visitas que se hacen a los mostradores de las hamburgueserías. Pero la última pieza no aparece por ninguna parte.

En realidad, es la última pieza la que controla el sorteo. Como quiera que el número de éstas iguala al de premios a adjudicar, su posesión es la que en esencia determina los ganadores, en tanto que la posesión del resto es irrelevante.

¿Cuál es, entonces, la pieza que falta en el caso del origen de la vida, esa que diferencia un sistema capaz de vida de un juego de sombras chinescas? La capacidad de crecer, reproducirse y evolucionar. El sistema ha de convertir materiales elementales del medio ambiente en parte de sí mismo, no del modo como una bola de nieve incorpora más nieve, sino copiando la organización interna del sistema. Además, el sistema ha de ser capaz de evolucionar y adquirir de este modo nuevas funciones que incrementen las posibilidades de un crecimiento y una supervivencia continuados.

En el experimento ideal, se colocaría una auténtica célula primitiva en un medio sencillo con una fuente de energía, y se la dejaría crecer y evolucionar continuamente sin más intervención por parte del experimentador. ¿Podrían las microsferas superar esta prueba y demostrar su naturaleza especial como forma autoorganizada de la materia capaz de una evolución ulterior hacia formas de vida reconocibles en cuanto tales?

Le hice esta misma pregunta a Sidney Fox, pero no estuvo de acuerdo en el tipo de experimento que se debería realizar. Él era de la opinión de que el progreso evolutivo requería un «medio ambiente que cambie paso a paso», con el científico especificando dichos cambios. «No me imagino haciendo experimentos que procedan por sí mismos una vez los haya dejado. Como mínimo hay que

alimentar las microsferas. En etapas más tardías de la evolución, si una madre abandona a su bebé, éste muere.»

A tal respecto, nuestras filosofías divergen. La cuestión capital no es si el medio ambiente es estático o presenta un ciclo preestablecido de uno u otro tipo (entre húmedo y seco, por ejemplo, o frío y calor), sino cuál es la opción a seguir cuando las cosas van mal. ¿Intervendrá continuamente el investigador, cual padre solícito, para asegurar la supervivencia del sistema, en vez de aceptar un resultado negativo? Si lo hace, quedaría demostrada su habilidad, pero también desempeñaría la función de agente organizador, con lo que no quedaría probada la capacidad autoorganizadora del sistema. La ciencia progresará en este campo sólo cuando se toleren resultados negativos y se puedan abandonar teorías.

A pesar de todo, no vayamos a prejuzgar las microsferas. Acaso quepa alguna demostración que satisfaga al profesor Fox y a sus críticos. En ese caso, desde luego será él quien ría el último. Iría en contra del espíritu de la ciencia declarar de plano que esto es imposible.

Ahora bien, dar por sentado que esas circunstancias *deben* existir es también acientífico. Semejante presunción situaría el estudio de las microsferas, de las *jeewanu* o de otras partículas por el estilo en el dominio de la mitología, ajeno a toda posibilidad de ser puestos a prueba. Pero, por las razones expuestas con anterioridad, parece improbable que tal prueba pueda llegar a hacerse jamás. Cualquier sistema con las complejas capacidades que se atribuyen a las microsferas será probablemente el resultado de una dilatada secuencia evolutiva, no de un proceso en una o dos etapas. Poco importa a este respecto que el proceso reciba el nombre de generación espontánea o de autoorganización.

Si aceptamos este razonamiento, la pieza que falta en nuestro cuadro del origen de la vida es un principio que gobierne la evolución gradual de los sistemas químicos simples hacia otros más elaborados, capaces de reproducirse y de experimentar una selección natural darwiniana. La búsqueda de este principio ha comenzado.

FORMAS ONDULADAS

En mis años de formación de laboratorio aprendí que, por lo común, sólo cabe esperar unos pocos tipos de acontecimientos cuando se mezclan compuestos químicos. Muy a menudo, el resul-

tado era de lo más soso que se pueda imaginar, pues no ocurría nada visible. Podía llevar horas o días de trabajo averiguar si realmente había ocurrido algo importante, algo que, desde luego, los sentidos no detectaban.

De vez en cuando me veía recompensado con una señal de que alguna cosa estaba sucediendo. Podían aparecer burbujas de gas en un líquido, como vemos al abrir una botella de gaseosa (que ocurra esto con intensidad, no es aconsejable, pues conduce directamente a la pesadilla del químico: la explosión). Como alternativa, podía formarse repentinamente una masa sólida, lo cual ofrecía muchas posibilidades de entretenimiento. Uno de los primeros factores que me animaron a estudiar química fue la experiencia sensual de ver formarse una masa amarilla, reluciente, exuberante, al mezclar dos líquidos incoloros.

Al calentar nuevas combinaciones de compuestos químicos orgánicos, lo más frecuente, aunque más bien poco satisfactorio, era que apareciera gradualmente un alquitrán oscuro y pegajoso. Esos alquitranes anunciaban de ordinario el fracaso de la reacción en curso. A mi frustración en tales experimentos se sumaba un castigo adicional: encontrar una manera de limpiar los utensilios de vidrio que contenían semejante pringue. Tras una serie de desastres de esta índole, a veces intentaba animarme con una reacción conocida y especialmente bonita. Era una que, al cabo de una noche de dejarla a su aire, llenaba el matraz de grandes y alargados cristales brillantes, increíblemente bellos.

Todos estos comportamientos químicos tenían una cosa en común, demasiado evidente para que reparara en ella en su momento. Fuera lo que fuese lo que anduvieran haciendo las sustancias en reacción, lo hacían, y, una vez terminada ésta, todo se paraba. No había vaivenes como en la línea de cabeza en una carrera de caballos, ni se invertía completamente la marcha, como ocurre en las mareas.

Sin embargo, de poco tiempo a esta parte ha despertado interés un tipo de reacción química muy singular. En ella, la concentración de ciertos compuestos químicos de la mezcla aumenta y decrece de forma periódica a medida que se desarrolla la reacción. Si se eligen adecuadamente los ingredientes, el proceso puede manifestarse de forma visual, con un efecto asombroso. El color de los productos de la reacción puede pasar del transparente al dorado, al azul, vuelta de nuevo al transparente, y así una y otra vez.

En ciertos casos pueden aparecer bellísimas estructuras espacia-

les, tales como espirales, hélices y otras formas onduladas. En la revista *Scientific American* se describía una de estas reacciones en los siguientes términos: «La disolución tiene inicialmente un color púrpura uniforme [...]. A medida que se desarrolla la reacción, aparecen puntos blancos que se convierten en anillos, y series de anillos que se aniquilan unos a otros cuando chocan. Un observador comparaba la aparición de los puntos blancos contra el fondo púrpura con ver aparecer las estrellas.»

Una fracción de estos sistemas puede mostrar asimismo un comportamiento denominado caos térmico. En él se producen oscilaciones que no son periódicas, es decir, que aumentan y decrecen de una manera aparentemente impredecible y aleatoria.

Estas reacciones han sido objeto de estudio, pero no se comprenden del todo. Aunque sólo se necesitan unos cuantos productos químicos sencillos para montar el sistema, los químicos todavía no pueden predecir con exactitud qué combinaciones mostrarán este tipo de comportamiento, ni adelantar qué comportamientos serán posibles. Pero muchos científicos están muy motivados para proseguir estas investigaciones, pues creen intuitivamente que les proporcionarán la pista necesaria para comprender el origen de la vida.

Hemos visto que los sistemas autorreproductores susceptibles de evolución darwiniana parecen demasiado complejos para originarse espontáneamente en una sopa prebiótica. Esta conclusión es válida tanto para los sistemas de ácidos nucleicos como para los hipotéticos sistemas genéticos basados en proteínas. Se requiere, por tanto, otro principio evolutivo que nos permita salvar el vacío entre las mezclas de compuestos químicos simples, naturales, y el primer replicador eficaz. Tal principio no ha sido definido en detalle ni demostrado, pero sí anticipado y bautizado con nombres como evolución química y autoorganización de la materia. El materialismo dialéctico, tal como lo aplicó Alexander Oparin al origen de la vida, da por sentada la existencia del principio en cuestión.

Los creacionistas, como veremos, tienen pareja fe en que tal principio no existe. Sostienen que la exquisita organización que nos es dado observar incluso en los seres vivos más elementales no es el resultado de un proceso evolutivo, sino que fue producida en su estado presente por un Creador aún más organizado y perfecto. En palabras de su portavoz, Henry Morris: «El modelo de la creación supone una creación primigenia que fue a un tiempo completa y perfecta, además de intencional.» Desde entonces, las cosas han ido

pendiente abajo en vez de hacia arriba, y ello en virtud de un principio científico conocido como segunda ley de la termodinámica.

Según Morris, si la materia aleatoria ha evolucionado realmente desde los elementos químicos hasta el hombre, «entonces no cabe duda de que debe de existir algún principio poderoso y omnipresente que impulse los sistemas hacia cotas de complejidad cada vez más altas». Morris, sin embargo, niega la existencia de esta «ley básica de organización creciente».

Sir Fred Hoyle ha abordado esencialmente el mismo tema y pide que se confirme o rebata mediante experimentación:

Si existiera algún principio oculto que dirigiera los sistemas orgánicos hacia la vida, la actuación de semejante principio sería fácil de demostrar en un tubo de ensayo y en sólo media mañana. Huelga decir que jamás se ha realizado tal demostración. No ocurre nada cuando se someten materiales orgánicos a los habituales tratamientos a base de duchas de chispas eléctricas o de luz ultravioleta, nada que no sea la producción de un légamo de alquitrán.

Exponente más precoz de este argumento fue William Jennings Bryan, el famoso político adversario de la evolución. Afirmaba: «Si existiera en la naturaleza una fuerza progresiva, un impulso eterno, la química lo descubriría. Pero no existe.»

Por supuesto, la demostración pedida por Hoyle no se ha realizado. Pocas razones habría para esperar el éxito en tal empeño si fuera necesario subvertir la segunda ley de la termodinámica en el curso del experimento. Pero ¿es realmente así?

En un capítulo anterior hicimos una breve mención de la primera ley de la termodinámica. Establecía ésta que la energía no se puede crear ni destruir, aunque sí convertir de una forma en otra. La segunda ley da más explicaciones acerca de las reglas que gobiernan estas transformaciones. Especifica los procesos y conversiones que pueden darse, y los que son imposibles. Un concepto clave al respecto es el parámetro llamado entropía, que se puede equiparar a la aleatoriedad o el desorden. La segunda ley establece que la entropía aumentará en cualquier proceso espontáneo que implique al Universo entero o a una parte de él aislada del resto (una parte así se denomina sistema cerrado). Por consiguiente, en los procesos que acontecen por impulso propio las cosas no se organizarán, sino que más bien ocurrirá lo contrario, pues la entropía aumentará.

La experiencia cotidiana nos permite comprender esto de una

manera intuitiva. Si echamos una gota de tinta en un vaso de agua, el color se difunde hasta distribuirse uniformemente. Jamás veremos que el proceso vaya hacia atrás, con el color reuniéndose en una única gota. Por lo mismo, un objeto caliente y uno frío puestos en contacto alcanzarán con el tiempo la misma temperatura. El movimiento medio de las moléculas en los dos objetos (lo que experimentamos como calor) se igualará.

La idea de desorden está estrechamente vinculada a consideraciones de índole probabilística. Si suponemos que cada molécula de colorante de la tinta tiene igual probabilidad de estar en la mitad superior que en la mitad inferior del vaso de agua, y toma una «decisión» con independencia de las demás moléculas, existe entonces una posibilidad finita de que la tinta se recoja en la parte superior del agua, dejando la inferior incolora. No obstante, la probabilidad en contra de este suceso se puede describir mejor señalando que nos llevaría al piso 100.000.000.000.000.000.000 de nuestra torre de los números. No hace falta que nos sentemos a esperar que ocurra.

A primera vista, los seres vivos parecen hallarse en un espantoso estado de improbabilidad, en flagrante violación de la segunda ley de la termodinámica. Tómense los aminoácidos de los enzimas de nuestro cuerpo, por ejemplo. Las formas D y L de cada aminoácido tienen la misma energía química e igual probabilidad de presentarse. Cabría esperar que un conjunto aleatorio de aminoácidos contuviera la mitad en la forma D y la mitad en la forma L; sin embargo, los aminoácidos de nuestros enzimas son todos de la forma L. Esta improbabilidad es comparable a la del ejemplo de la tinta y el agua. Podríamos seguir citando improbabilidades atendiendo a otras formas de organización de nuestras células, pero no es necesario que lo hagamos para sentar este punto.

¿Cabe conciliar este estado de cosas en los seres vivos con la segunda ley de la termodinámica? La respuesta es sí, y con bastante facilidad. Los seres vivos no subsisten como sistemas cerrados, aislados de su medio ambiente. Cuando se les aísla, mueren. Para concretar, imaginemos unas pocas bacterias colocadas en un medio que contenga algún compuesto orgánico simple como alimento, las sales inorgánicas imprescindibles y una fuente de oxígeno. Aisle-mos todo el sistema de modo que no pueda entrar ni salir nada. Según la segunda ley, la entropía del contenido de nuestra caja sellada debe aumentar. No obstante, las bacterias se multiplicarían alegremente por un tiempo, convirtiendo los compuestos simples en

aminoácidos L y, en definitiva, en muchas más bacterias. Esta transformación vendría acompañada de una disminución de la entropía de los compuestos químicos implicados.

No existe contradicción alguna en estos resultados, pues aún no hemos descrito toda la situación. Durante el proceso de crecimiento, las bacterias combinan una porción de materia orgánica con oxígeno, produciendo dióxido de carbono y agua. Esta transformación trae consigo un fuerte incremento de la entropía, incremento más que suficiente para contrarrestar la disminución que supone la creación de una nueva bacteria. Así pues, la entropía del recipiente como un todo aumentará conforme a la segunda ley.

Con el tiempo, las existencias de alimento en ese reducido ambiente se agotarán, las bacterias dejarán de crecer y morirán. Podrían seguir vivas si abriéramos la caja, aumentando así los recursos ambientales a su disposición. Las bacterias de este planeta —igual que nosotros— pueden reducir su entropía de continuo, pues esos cambios se equilibran con el mayor incremento de la misma en el Sol, fuente última de sustento de prácticamente toda la vida terráquea.

Es difícil seguir la pista de los cambios de entropía en el Sol, de modo que se emplean otros términos para expresar esta misma relación. Decimos que la vida recibe energía libre (léase aprovechable) del Sol, y que utiliza dicha energía para mantener y aumentar su nivel de organización. En el mismo sentido, las bacterias de la caja empleaban la energía desprendida por la reacción de su alimento con el oxígeno para sustentarse.

Hay un mensaje crucial en esta historia. La improbabilidad que no tiene cabida para la esperanza en términos de sucesos aleatorios, como la formación de aminoácidos L a partir de compuestos químicos simples, resulta de fácil consecución si se dispone de una fuente de energía apropiada. Y el coste no es prohibitivo: con una pizca de ATP se pueden obtener sustancias sujetas a una improbabilidad que las elevaría miles o millones de pisos en la torre de los números.

Así pues, la energía procedente del Sol es el origen de la improbabilidad existente en la vida actual, y fue también la fuerza directriz del proceso de organización que entrañaba la creación de la vida. La casualidad es una herramienta extraordinariamente inoperante para este cometido. No obstante, el problema crucial subsiste. ¿Cómo se aprovechó por vez primera la energía del Sol para ese objetivo? Por lo general, la energía disponible no se transforma en

improbabilidad química. Lo normal es que toda o buena parte se convierta en calor y deje de ser útil. La luz solar que incide en un depósito de chatarra no hará que esa chatarra se convierta en un Boeing 747, simplemente la calentará. Las bacterias disponen de una intrincada maquinaria para realizar la transformación de compuestos químicos y energía en más bacterias. Permítaseme citar de nuevo a Henry Morris: «La cuestión no es si del Sol llega energía suficiente para mantener el proceso evolutivo; la cuestión es cómo sustenta la energía del Sol la evolución. [...] ¿Dónde está ese motor maravilloso que invierte el flujo continuo de radiación solar que baña la Tierra en la tarea de convertir elementos químicos en sistemas celulares reproductores?»

A pesar de todo, muchos científicos están convencidos de que ese motor maravilloso existió al aparecer la vida. Como afirma John Keosian, «la materia impulsada por la energía en un sistema abierto puede alcanzar niveles de organización cada vez más altos». Según decíamos, esto se acepta como artículo de fe en el materialismo dialéctico, que asume que el proceso organizador va más allá de los átomos, los microbios y los seres humanos, hasta el desarrollo mismo de las sociedades superiores. Sin embargo, el problema que atañe al origen de la vida se aborda mejor a través de las matemáticas que a través de la política. Ilya Prigogine, que recibió el premio Nobel de química por sus aportaciones a la termodinámica de los estados alejados del equilibrio, ha hecho la siguiente afirmación: «Un sistema prebiológico puede evolucionar a lo largo de toda una sucesión de transiciones conducente a una jerarquía de estados cada vez más complejos y organizados.» Durante este proceso aparecerían una serie de inestabilidades denominadas «estructuras disipativas».

Otros, como Manfred Eigen y el físico Harold Morowitz, también han intentado abordar estas situaciones mediante cálculos. Ya nos encontramos anteriormente con los hiperciclos de Eigen, y Morowitz concluye asimismo que en la evolución química debieron de intervenir ciclos materiales, y que «los principios organizadores de la química molecular parecen suficientes para guiar los sistemas por vías muy específicas hacia las formas vivas».

Quizá tales principios son suficientes, pero no podemos estar seguros de que lo sean. Morowitz añade: «Pueden quedar por descubrir principios importantes para la génesis de sistemas prebióticos altamente ordenados.» Las matemáticas nos aseguran que existe una solución, pero eso no es la solución. Tenemos que verla de-

mostrada en el laboratorio, ver un sistema evolucionar por etapas según las premisas de la evolución química.

Las formas onduladas que mencionábamos antes representan el primer paso en esta dirección. Ilustran cómo simples mezclas de compuestos químicos pueden producir estructuras organizadas. Pero necesitamos dar con un sistema que no deje de funcionar, uno en el que las estructuras se hagan más complejas, en el que los ciclos químicos se organicen más y más. Anillos y colores no son el carácter más importante. Deseamos encontrar un sistema químico que evolucione y que con el tiempo produzca un replicador, y haría falta un tipo de experimento prebiótico nuevo para identificar las condiciones necesarias.

Piénsese en una mezcla de aminoácidos y otros compuestos químicos, como la que resulta de un experimento Miller-Urey. No obstante, en este caso no se retira la fuente de energía al cabo de una semana, sino que prosigue el bombardeo de la mezcla. Los compuestos químicos se rompen continuamente y se recombinan para formar nuevos productos. Supóngase que uno de esos productos (o una serie de ellos) interacciona con la fuente de energía de tal manera que se estabiliza e incrementa su representación en la mezcla: se originaría así una combinación nueva que a su vez interaccionaría con la fuente de energía, favoreciendo quizás unos compuestos a expensas de otros.

Se han dado los primeros pasos para crear un sistema de este tipo. Cuando se someten aminoácidos a tratamientos alternos de frío-humedad y calor-sequedad en una superficie de arcilla, se unen para formar cadenas cortas que luego se separan de nuevo. Se ha demostrado que una cadena peptídica corta, de sólo dos aminoácidos, favorece el proceso de unión.

Si hubiéramos de especular sobre posibles progresos futuros, podríamos imaginar un conjunto de péptidos cortos en evolución, interaccionando de alguna manera con una fuente de energía, como el Sol. Colectivamente, tales péptidos favorecerían la síntesis de aminoácidos con preferencia a otros compuestos químicos, la unión de los aminoácidos en péptidos y la preparación de nuevos péptidos útiles para la continuación del proceso.

Todavía no se habría desarrollado la reproducción directa, y la herencia descansaría en el conjunto como una unidad. Supongamos, por ejemplo, que dicho conjunto tuviera necesidad de descomponer un alquitrán presente en el medio ambiente. No podría preparar un enzima específico que realizase eficazmente esa tarea,

sino que fabricaría una gama de moléculas con la capacidad requerida más o menos desarrollada. Cuando, por casualidad, una molécula muy eficiente resultara destruida, su función la realizarían las siguientes más aptas que a mano hubiera, hasta la llegada de otra «experta».

La situación guarda cierta similitud con el funcionamiento de ciertas actividades en nuestra sociedad. No podemos producir copias idénticas de nuestros mejores cirujanos o violinistas; cuando se retiran o mueren, otros ocupan su lugar y continuamente se van formando más.

Según esta especulación nuestra, un sistema de aminoácidos y péptidos como el propuesto multiplicaría poco a poco su complejidad. Si las matemáticas que describen estos procesos no se equivocan, se progresaría a trompicones, no de un modo uniforme. Sin embargo, una vez iniciado el proceso, éste no entrañaría etapas de una gran improbabilidad. Con el tiempo, a medida que surgieran moléculas más complejas, se generaría una presión selectiva a favor de la aparición de un sistema de enzimas susceptibles de reproducción directa. Habríamos llegado a la etapa en la que la selección darwiniana podría tomar el relevo.

Escéptico debe de haber oído esto. Irónicamente, su punto de vista se aproximará al de los creacionistas. Nos recordará que el inmenso vacío entre las formas onduladas y los replicadores se ha ido colmando de cálculos y conjeturas, no de experimentos, y que la evolución química se ha afirmado y negado, no demostrado. Todavía no hay manera de predecir qué clase de mezcla sería un buen punto de partida. Para ilustrar el proceso he recurrido a compuestos químicos que nos son familiares: los aminoácidos.

Cuando se combinan, los aminoácidos presentan las propiedades más indicadas. Además, son predominantes en la vida actual. Por estas razones, son los ingredientes idóneos de un sistema de evolución química. No obstante, no está claro si las condiciones en la Tierra primitiva eran las adecuadas para que se formaran y concentraran. Como hemos visto, también hay problemas en lo que se refiere a combinarlos expulsando agua para formar largas cadenas.

Así pues, se ha propuesto una solución alternativa. A lo mejor, en los procesos de la evolución química, e incluso en los primeros pasos de la selección natural, intervenían otros compuestos químicos: unos compuestos que de seguro estaban presentes en la Tierra primitiva, pero que ya no son necesarios ni útiles para la vida actual.

LODO

Para representar su obra, un dramaturgo parte de un escenario vacío y especifica los decorados y accesorios necesarios para la puesta en escena. Muy a menudo, los científicos que trabajan en el origen de la vida funcionan de la misma manera: la Tierra primitiva es para ellos como telón de fondo sin rasgos distintivos. Reclaman una atmósfera reductora, o un aporte abundante de meteoritos, temperaturas altas o bajas y toda suerte de compuestos químicos específicos, aduciendo que sus peticiones son razonables o, en todo caso, inexcusables para el éxito de la obra.

Un decorado bien diseñado puede obrar maravillas en el teatro, pero en la ciencia prevalece el espíritu opuesto. La teoría que funcione con un mínimo de supuestos arbitrarios será la más satisfactoria. No sabemos si la Tierra primitiva tuvo una atmósfera particular o si tuvo abundancia de compuestos orgánicos. Lo que sí había era suelo, como colinas y montañas, así como algún tipo de atmósfera y viento. Había agua, y por tanto lluvia, ríos y mares.

La acción del viento y el agua en las montañas producía cantos rodados y peñascos. La meteorización ulterior daba lugar a arena, limo y arcilla. El agua se mezclaba con estas sustancias formando lodo, que era arrastrado aguas abajo por los ríos. Cuando éstos perdían fuerza en los lugares llanos, el lodo precipitaba como sedimento. A medida que los sedimentos se acumulaban, los inferiores se compactaban, formando nuevas rocas. En una etapa posterior, levantadas por fuerzas geológicas, estas rocas se verían sujetas a su vez a la erosión.

Las rocas están formadas por compuestos químicos; se transforman mediante reacciones y mediante fuerzas físicas tales como la fractura. Al infiltrarse en los poros de las rocas, el agua disuelve unos minerales y transforma otros. Se pueden formar rocas nuevas no sólo por compactación de las antiguas, sino también por precipitación a partir de disoluciones acuosas en evaporación. Los minerales no sólo participan en diversos procesos, sino que pueden influir en su trayectoria actuando como catalizadores. Lo hacen con suma eficacia cuando están divididos en partículas mínimas, que son las que en conjunto tienen la superficie máxima: las arcillas.

Como es seguro que las arcillas estaban en escena y eran activas en aquellos primeros tiempos, algunos investigadores han intentado darles un papel en el drama del origen de la vida. El cristalógrafo J. D. Bernal propuso la hipótesis de que ayudaban a mon-

tar moléculas importantes para la vida acopiándolas en los mares en los que éstas se encontraban dispersas. Otros les han otorgado un importante papel secundario como catalizadores de la síntesis de esas moléculas antes del comienzo de la vida. Hemos visto cómo se ha invocado la acción de un ignoto mineral mágico a título de posible *deus ex machina* que desenredaría el nudo gordiano de la síntesis prebiótica de los neucleósidos. Sin embargo, en los esfuerzos por reponer este drama, las arcillas modernas se han mostrado muy poco dispuestas a representar dicho papel.

La hipótesis más sugerente acerca del papel desempeñado por las arcillas en la vida primitiva proviene del químico Graham Cairns-Smith, quien les otorga el rango de protagonistas. Las arcillas no se limitarían a ayudar a los compuestos químicos orgánicos, sino que lo harían también con los propios seres vivos: «Si buscamos una imagen de la vida primitiva, no pensemos en células, sino más bien en una especie de lodo, en un conjunto de arcillas cristalizando activamente en una disolución», escribe Cairns-Smith.

Para la mayoría de nosotros, las rocas, por más que estén finalmente divididas, no son símbolo de vida, sino de lo contrario, es decir, de la materia inerte. Los desiertos arenosos y la yerma superficie de la Luna acuden raudos a la mente cuando pensamos en rocas, y los libros de biología comparan a menudo las propiedades de los seres vivos con las de las rocas cuando tratan de definir la vida. Nada en las rocas o en el lodo sugiere que sean materiales de construcción adecuados para la vida. Pero hemos de recordar que un balde de alquitrán da poco pie para imaginar la maravillosa bioquímica que se puede desarrollar con los compuestos de carbono.

Hagamos una pausa y pensemos en un comportamiento familiar de un mineral corriente: la sal de cocina. Supóngase que añadimos sal a un matraz con agua hasta que ya no se disuelve más. A continuación, suspendemos un cristal de sal dentro de la disolución transparente, y dejamos el conjunto expuesto al aire. A medida que se evapora agua, se depositará sal en la superficie del cristal, lo que hará que éste crezca. Si alguna sacudida o imperfección hace que el cristal agrandado se desgaje en dos, podríamos pretender que el cristal inicial se ha reproducido.

He descrito este experimento con el fin de descartar las definiciones de vida basadas sólo en el crecimiento y la reproducción. En realidad, el cristal de sal en crecimiento no puede hacer nada más. No aparecerán más propiedades de la vida con el tiempo. Pero esta falta de características interesantes no tiene por qué ser inherente a

todos los minerales. La sal, cuyo nombre químico es cloruro sódico, es una sustancia muy aburrida, compuesta como está de sólo dos clases de átomos en la proporción uno a uno. Podemos visualizar su estructura dibujando una cuadrícula y llenándola de *equis* y *oes* alternas, de modo que cada *equis* esté rodeada de cuatro *oes* y viceversa. Ampliemos imaginariamente esta estructura en una tercera dimensión, de modo que cada símbolo sea contiguo a seis del otro tipo. Si ahora reemplazamos las *equis* y las *oes* por átomos de sodio y cloro, tendremos la estructura cristalina de la sal. Sin embargo, esta estructura no da más idea de las posibilidades de la química inorgánica que la que da la estructura del diamante (un retículo tridimensional perfectamente regular de átomos de carbono) sobre la gran versatilidad de la química orgánica.

Otras estructuras inorgánicas ofrecen muchas más posibilidades que la sal, en particular las integradas por oxígeno y silicio —los dos elementos más abundantes de la corteza terrestre— como ingredientes clave. El silicio es el vecino del carbono en la tabla de clasificación de los elementos químicos usada por los químicos; como el carbono, gusta de unirse a un tiempo con otros cuatro átomos, propiedad que puede conducir a una gran complejidad química. El silicio se diferencia del carbono en que, dadas las condiciones que imperan en la Tierra, prefiere como compañero de enlace una clase específica de átomos: los de oxígeno. El grupo silicato, que definíamos anteriormente como una unidad que contiene un átomo de silicio y cuatro de oxígeno, es el elemento de construcción más corriente en las rocas de la Tierra.

No obstante, la palabra «silicato» no completa nuestra descripción química. Cada átomo de oxígeno debe elegir un compañero de enlace aparte del silicio, y según cómo lo haga determinará si obtendremos una sustancia no mucho más compleja que la sal o un sistema de gran versatilidad, capaz acaso de vivir.

Surgen posibilidades muy interesantes cuando uno o más oxígenos de cada grupo silicato se unen a otro átomo de silicio, conectando así numerosos silicatos. Estos enlaces pueden ordenarse linealmente para formar cadenas, hacerlo en dos dimensiones para componer capas o láminas de silicatos, o en tres para erigir retículos. Aquellos oxígenos que no unen dos silicios pueden combinarse con diversos metales y dar lugar así a una gran variedad de estructuras. Cabe obtener más diversidad si de vez en cuando un átomo de silicio es sustituido por otro átomo adecuado, como el aluminio.

Los silicatos reticulares, como el cuarzo o el feldespato, son los

principales componentes de las rocas volcánicas de la Tierra. Los laminares, sin embargo, son los que requieren nuestra atención, por sus posibles propiedades portadoras de vida. En ciertos casos, la disposición laminar de los átomos se refleja incluso a escala visible. De niño, solía pasearme por el parque próximo a mi casa en busca de relucientes cristales de mica. Los deshacía en láminas delgadas y me dejaba maravillarse por su transparencia a la luz. Por supuesto, cada lámina macroscópica contiene un número enorme de láminas de silicato.

Las micas se forman directamente cuando las lavas volcánicas se enfrían en unas condiciones específicas. Al meteorizarse, el agua las transforma y se origina un grupo de silicatos laminares afines, conocidos con el nombre de arcillas. Esta acepción de la palabra «arcilla» difiere de la que hemos empleado anteriormente, que hacía referencia al diminuto tamaño de las partículas que se pueden formar a partir de cualquier mineral. Como es lógico, el mineral «arcilla» se puede meteorizar y formar partículas del tamaño «arcilla».

Hay diversos minerales arcillosos que se pueden encontrar en la Tierra; el más común es la caolinita. Esta sustancia es el principal ingrediente de una mezcla, el caolín, empleada en la manufactura de porcelana y otras lozas. El nombre le viene de una montaña de China, Kao-ling, que era el yacimiento de la primera arcilla de esta clase que llegó a Europa.

Observados al microscopio, los cristales de caolinita se presentan como agregados de escamas que recuerdan un libro, aunque las «páginas» pueden amontonarse en número muy superior a las verdaderas páginas de los libros. Vistas de lado, estas pilas de laminillas no son siempre rectas, sino que a veces se curvan y adoptan configuraciones vermiformes.

Los cristales de caolinita, como los de sal, pueden medrar por agregación de material en disolución. Una de las formas de crecimiento consiste en la adición de nuevas láminas o «páginas» a esas pilas. A causa de tales propiedades, los minerales arcillosos en general, y la caolinita en particular, son los candidatos favoritos de Graham-Smith como material de construcción de su sistema vivo inorgánico, su «arcilla vital».

Si las láminas de los minerales arcillosos fueran siempre idénticas —el equivalente de páginas en blanco— poco interés merecerían por nuestra parte. Pero en la estructura de estos minerales pueden presentarse imperfecciones que equivaldrían a la impresión de algunas letras en una página. Esos defectos se producen de diversas

maneras: por ejemplo, mediante sustitución fortuita del silicio por otros átomos o la fusión de dos «páginas» por el borde para formar una «página» doblada. De estas estructuras se tiene abundante información, pero el resto de la historia que nos queda por contar está basada en escasos datos y mucha especulación.

Continuemos suponiendo que se pueden añadir láminas nuevas a una pila de láminas de silicato en crecimiento de manera que copien los defectos de las láminas ya existentes. En nuestro símil del libro, esta situación correspondería a la adición a la pila de fotocopias de alguna página. Existen circunstancias químicas en las que podría darse esa reproducción de una pauta de imperfecciones, y un químico alemán, Armin Weiss, ha publicado unos experimentos preliminares que documentan un proceso de esta índole. En sus investigaciones, las láminas nuevas se forman dentro de la pila y no en sus extremos.

Para imitar la reproducción biológica, la pila no sólo tendría que crecer, sino que también tendría que dividirse y formar varias. Weiss ha demostrado que este proceso se da cuando disminuye la concentración de sales en el agua que baña el mineral. En la naturaleza, tal división podría desencadenarse cuando a un período relativamente seco le sucediera una temporada de lluvias.

Así pues, una pauta de imperfecciones estructurales en una lámina de arcilla sirve de analogía mineral, en dos dimensiones, del almacenamiento de información biológica en la secuencia de bases del ADN. Para completar la analogía con el mundo biológico, sería necesario que la pauta de defectos influyera en las propiedades físicas y químicas de la arcilla. Tal parece ser el caso al menos en algunas situaciones. Según Weiss, la capacidad catalítica de los minerales arcillosos para ciertas reacciones orgánicas varía con el grado de sustitución del silicio por el aluminio en las láminas.

Ahora estamos en condiciones de levantar el telón para el primer acto de la obra «La arcilla». El escenario representa la Tierra primitiva. Vemos diversos minerales arcillosos en crecimiento en un ambiente adecuado, a saber, una roca porosa empapada de agua corriente con minerales disueltos. Las diferentes especies competirán entre sí por el «alimento» mineral disuelto, y el vencedor será el que se reproduzca más deprisa. Describamos esta situación en el *Relato del jueves* de la Introducción.

Debemos hacer ahora otra suposición. La copia de las pautas de la arcilla no sería del todo exacta, de modo que se producirían errores que, en ocasiones, llevarían a la creación de arcillas con

mejores propiedades para la supervivencia y la propagación. De esta manera comenzaría la selección natural entre sistemas inorgánicos de arcilla.

Según este guión, la primera vida que apareció sobre la Tierra fue un sistema de arcilla mineral capaz de evolucionar. La trama ofrece muchas ventajas que no poseen aquellas que presentan los organismos originarios hechos de carbono. No hay que definir ninguna sopa ni atmósfera especial, sólo ciclos geológicos como los que funcionan todavía en la Tierra. Las fuerzas que levantan las montañas y las desgastan de nuevo proporcionan la energía. No es necesario ningún gran salto de organización que nos lleve del estado químico inicial al primer replicador: uno y otro están estrechamente emparentados. Además, la reproducción biológica de nuestro tipo exige la unión de moléculas pequeñas con desprendimiento de agua —un proceso desfavorable en términos de energía—, mientras que el crecimiento de un cristal es favorable energéticamente en muchas circunstancias.

Prosigamos con el primer acto. Los seres minerales han evolucionado hasta cierto punto. ¿Cómo serían? Según Cairns-Smith, al principio vivían en ambientes protegidos, estables, debajo del suelo o cerca de los fondos marinos. Más adelante se propagaron por hábitats más expuestos, más variables, próximos a la superficie. Vivían enraizados en un lugar, recordando en este aspecto a las plantas. Se difundían aprovechando el flujo de las corrientes, según se fragmentaban durante la replicación.

Los minerales no poseen ese exacto control molecular de las reacciones que sí poseen nuestros enzimas. Más bien debían de influir en la trayectoria de su «metabolismo» mediante el empleo de «aparatos» equivalentes a los de un laboratorio químico a escala microscópica. La información almacenada en los «genes» del cristal determinaría la producción de tubos, poros, membranas, conductos, e incluso bombas. En su construcción se utilizarían otros minerales además de arcillas laminares. La situación recuerda la que se presenta en la biología hoy, en la que se da forma material a las instrucciones impresas en el ADN recurriendo a toda una gama de materiales. Al final del primer acto, la Tierra albergaría numerosas comunidades de organismos evolucionados, cuyos miembros, en palabras de Cairns-Smith, se podrían equiparar a «un castillo de naipes con habitaciones de sólo ciertos tamaños, interconectadas de determinadas maneras».

A medida que se desarrolla el segundo acto, las comunidades

de arcilla pueblan la superficie de las tierras emergidas. Este desplazamiento les brinda nuevas oportunidades de dispersión. Por ejemplo, al secarse, un «lodo vital» podría convertirse en un polvo plumoso que el viento dispersaría fácilmente. Al ir ampliándose las aptitudes de las comunidades minerales, éstas empezaron a experimentar con nuevos materiales de construcción, sobre todo con moléculas orgánicas.

No hace falta que supongamos que dichas moléculas procedían de una sustanciosa sopa prebiótica; las comunidades arcillosas podrían haber empleado energía solar y dióxido de carbono del medio ambiente para preparar sustancias orgánicas por fotosíntesis. El catalizador requerido para efectuar semejante proceso podría haber estado presente en el medio ambiente mineral, o haber aparecido como resultado de un proceso evolutivo.

Me imagino que los primeros experimentos de química orgánica realizados por esos supuestos organismos de arcilla terminaron con resultados muy similares a los que otros químicos actuales y yo hemos obtenido: un aparato revestido de alquitrán. Debieron de haberse producido muchos desastres evolutivos antes de que las arcillas «aprendieran» a controlar las reacciones orgánicas. Con tiempo y experiencia, afirmaron esta capacidad.

Las primeras moléculas orgánicas introducidas en los organismos de arcilla debieron de desempeñar funciones secundarias. Servirían para modificar la consistencia de la arcilla, retener minerales raros y como materiales de construcción. Según progresaban en complicación, asumieron nuevas funciones en la vida mineral.

Para la descripción del final del segundo acto recurriremos a las palabras de Cairns-Smith para describir una activa comunidad orgánico-arcillosa que vivía en algo análogo a la «pequeña charca caliente» de Darwin: «Imaginemos la charca de Darwin como un sistema ecológico integrado por una comunidad de organismos de arcilla muy evolucionados, que viven en las aguas someras expuestas a la luz solar.» Unos miembros de esta comunidad se dedicarían a fotosintetizar, empleando dióxido de carbono, otros transformarían el nitrógeno de la atmósfera en una forma más útil, otros recogerían minerales raros, etc. Alboreaba la edad de oro de la vida mineral.

En el tercer acto, he modificado la historia básica de Cairns-Smith para adecuarla al propósito de este libro. Ha transcurrido mucho tiempo y los enzimas ya están inventados. Su función de control químico ha resultado ser mejor que el elaborado aparato de arcilla, con lo que se ha prescindido gradualmente de las bom-

bas y vesículas. Los genes arcillosos y sus productos proteínicos están encerrados en membranas, ganando así en protección y movilidad. A partir de cierto momento, resulta más eficaz, a efectos de control, almacenar también información y capacidad genética en los enzimas en vez de guardarla exclusivamente en la arcilla.

Sólo resta un paso para completar el drama. Esos organismos con sistema genético dual, orgánico-arcilloso, dependían aún de las existencias de silicatos disueltos para reproducirse. Algunos lograron liberarse de tamaña restricción, deshaciéndose simplemente del aparato genético de arcilla al tiempo que conservaban el alternativo. La transferencia del control de los minerales a los compuestos de carbono se completó y, por consiguiente, el papel de la arcilla tocó a su fin. Podía comenzar la evolución moderna.

Un posible título para este drama podría ser *Sustitución en el poder genético*, y ése es aproximadamente el título de la reciente obra técnica de Cairns-Smith (*Genetic takeover*). Cairns-Smith compara el proceso descrito con la revolución de la electrónica moderna, donde los compactos y eficaces circuitos integrados han desplazado los tubos y cables de los aparatos más antiguos.

Cuando en 1983 asistí al Congreso de Mainz sobre el origen de la vida, tuve la oportunidad de pensar en otro símil con material de primera mano. En efecto, en esta ciudad alemana Johannes Gutenberg inventó la imprenta hacia mediados del siglo XV, y un magnífico museo ilustra allí este acontecimiento y la historia general del libro desde sus orígenes hasta el presente.

Al recorrer las salas del museo reparé en la existencia de varias revoluciones tecnológicas —de varias sustituciones de poder— en la historia de la información escrita e impresa. La que Gutenberg hizo célebre, vigente todavía hoy, sobrevino bastante tardíamente; le precedieron la invención de la escritura y la del papel. Por supuesto, la imprenta supuso una revolución en la velocidad de transmisión de la información.

También pueden haberse producido diversas tomas de poder durante la génesis del mecanismo de almacenamiento biológico de información, con la arcilla primigenia, las proteínas, el ARN y, finalmente, el tardío ADN.

La obra que acabamos de representar, hipotético relato del origen de la vida en la Tierra, tiene muchos puntos satisfactorios, pero —no podía ser menos— un gran inconveniente. Antes de parar mientes en la evolución por desplazamiento génico de los organismos arcillosos, hemos de aceptar que tales seres existieron. Un con-

siderable número de científicos —para los que, en un libro anterior, acuñé el término «carbonistas»— están plenamente convencidos de que sólo un sistema basado en la química del carbono, que funcione en un medio acuoso, puede sustentar la vida. (Los carbonistas extremos limitarían la posibilidad de vida a un sistema de ácidos nucleicos y proteínas similar al nuestro.)

La constatación de formas de vida a base de minerales trastocaría este punto de vista y ampliaría considerablemente nuestras ideas acerca de cómo se puede presentar la vida en el Universo. Este avance supondría una revolución en nuestro conocimiento de la naturaleza de la vida, y sería un logro sin precedentes, aunque no tuviera nada que ver con el origen de nuestra propia clase de vida en la Tierra.

Por suerte, hay varias maneras de poner a prueba la hipótesis. Experimentos como los llevados a cabo por Armin Weiss pueden resultar técnicamente difíciles, pero, afortunadamente, no precisan un viaje al fondo del mar o a otro planeta. La capacidad de las arcillas para almacenar y expresar información, reproducirse y mutar ha de ser demostrada de forma rigurosa y reproducible.

Cairns-Smith ha propuesto otro tipo de experimento-prueba, que podría considerarse una versión mineral de la evolución en tubo de ensayo del ARN del virus Q β . Se utilizaría una especie de cristalizador continuo, aparato empleado en determinados experimentos de laboratorio. Este cristalizador sería alimentado con una disolución sobresaturada de minerales; en el interior del aparato tendría lugar la formación y crecimiento de los cristales, de modo que por el conducto de salida fluiría una suspensión de cristales.

Supongamos que en el aparato se forman dos especies distintas de cristales: los de la primera especie crecen sin fragmentarse, y con el tiempo acaban en el tubo de salida y se pierden; los de la segunda, en cambio, se fragmentan con rapidez, de modo que los nuevos cristales que se forman compensan las pérdidas. Si aparece alguna variante fortuita, capaz de proliferar más deprisa, invadirá toda la cámara, como los mutantes Q β en el experimento de Spiegelman. Las investigaciones con el cristalizador nos dirán muchas cosas sobre las posibilidades de evolución de los cristales y los minerales más adecuados al respecto.

La mejor prueba de la verosimilitud de la teoría que aboga por la vida arcillosa sería su detección en la Tierra presente. En nuestra representación escénica, nada excluía la supervivencia de las formas originarias. Los híbridos orgánico-cristalinos que precedieron a

la vida orgánica quizá fueron devorados por sus descendientes y hoy sólo subsisten como fósiles; pero las versiones más primitivas, exclusivamente de arcilla, no competirían con la vida moderna por los mismos recursos ambientales y quizás hayan sobrevivido hasta el presente. Incluso si hubieran perecido a causa de cambios geológicos, cabría esperar que arrancaran de nuevo y evolucionaran otra vez, dada la relativa sencillez del proceso.

Graham Cairns-Smith se mostró muy prudente acerca de estas posibilidades cuando hablé con él en la reunión de Mainz, a pesar de que mientras conversábamos degustamos vino suficiente para despertar el valor que los científicos necesitan para lanzarse a una especulación sin límites. En su opinión, las formas de vida mineral serían frágiles y proclives a la extinción. Hoy día sólo cabría esperar rebrotes, no supervivientes originarios. Deberíamos dirigir especialmente nuestra búsqueda hacia las formas raras e inusuales, como las complejas formas vermiformes de la caolinita. Como alternativa, podríamos buscar cristales en lugares insólitos, lejos de la fuente de los materiales que los formaron. No ofreció candidatos directos, aunque en otras ocasiones se ha preguntado si algunas conocidas formas vermiculares no serían el resultado de un proceso de selección natural.

Estamos pendientes de una respuesta definitiva sobre la vida arcillosa. Si de verdad ése fue nuestro comienzo, sería una de las respuestas científicas más satisfactorias. Habitamos este planeta y utilizamos sus recursos. Fallecemos y nuestro cuerpo va a parar a la tierra. Cuán propio si en el fondo hubiéramos surgido de ese suelo, como apunta el Génesis (2:6-7): «Salía, empero, de la tierra una fuente, que iba regando toda su superficie. Entonces, Dios formó al hombre del lodo de la tierra, e infundióle en el rostro un soplo de vida, y quedó hecho el hombre, ser con alma viviente.»

Las diversas especulaciones de este capítulo, aunque muy dispares, comparten entre sí —y con otras muchas teorías— la suposición de que la vida se originó en la Tierra. Dicha suposición no tiene por qué ser verdad, y la falta de una evidencia firme en pro del origen terráqueo de la vida ha hecho que algunos científicos de renombre hayan vuelto la mirada a otros lugares. Pasemos a estudiar seguidamente estas ideas.

IX. LLEGAN LOS COMETAS: LA CIENCIA COMO RELIGIÓN

«Hay quienes creen que la vida comenzó fuera de nuestro planeta.» Esta frase se repetía al comienzo de cada uno de los episodios de una serie televisiva ambientada en el espacio interplanetario. Mientras se pronunciaba la frase, en la pantalla aparecía una flota de naves espaciales dirigiéndose hacia el planeta Tierra, en un masivo éxodo galáctico. Según esta idea, nuestra presencia en la Tierra no es el mero resultado de un accidente local, sino que es un hecho con resonancia cósmica.

El cielo de una noche estrellada es un espectáculo grandioso. Me resulta casi imposible levantar la mirada y no sentirme abrumado por su majestad. Me perdí esta experiencia durante buena parte de mi niñez, pues crecí bajo el cielo reverberante y calmoso de Nueva York. Sólo en ciertas ocasiones, cuando mi familia iba de vacaciones a las montañas Catskill y se me permitía permanecer levantado hasta una hora inusualmente avanzada de la noche estival, podía disfrutar la experiencia plena. Las más de las veces, me contentaba con contemplar un simulacro de cielo en el planetario Hayden. En todo caso, todas estas experiencias me han ayudado a comprender los sentimientos de quienes deseaban trasladar nuestros orígenes al cosmos. Dichos sentimientos son similares a los de la sirvienta del cuento de hadas que espera secretamente haber nacido princesa y que algún día se desvele su verdadera identidad.

Ideas de este tipo han surgido una y otra vez a lo largo de la historia. Nada tiene de extraño que cobraran nuevo vigor en cuanto la hipótesis Oparin-Haldane mostró cierta debilidad. Cuando empezó a parecer improbable que la Tierra primitiva tuviera la atmósfera fuertemente reductora que demandaba la teoría, se plantearon diversas reacciones posibles. Una consistía simplemente en modificar

o abandonar la teoría, si bien tal opción no era tan atractiva para algunos pensadores como la alternativa de abandonar la Tierra y trasladar el origen de la vida a otro lugar.

No trataremos aquí las fantasías populares según las cuales desorejados extraterrestres descendientes de otros que nos dieron la vida andan acechando en cualquier esquina, chinchándonos de vez en cuando con sus naves espaciales. Las pruebas en favor de estos sucesos son lisa y llanamente inexistentes. A menos que aparezcan datos incontrovertibles en contra, preferimos la hipótesis más sencilla: ninguna inteligencia externa se ha mezclado en los acontecimientos de este planeta durante el período abarcado por el registro geológico.

Por supuesto, esta afirmación no se remonta al origen de la vida y no podemos excluir la posibilidad de que el primer organismo llegara aquí procedente de otro lugar, por accidente o como resultado de los esfuerzos de seres conscientes.

A comienzos de siglo, un célebre químico sueco, Svante Arrhenius, merecedor del premio Nobel de esa disciplina en 1903, publicó una teoría de este tipo. Arrhenius era un hombre de ideas originales. En su tesis doctoral, por ejemplo, describió correctamente el comportamiento de las sales cuando se disuelven en agua. Su teoría fue acogida con escaso entusiasmo, y por ello recibió la nota aprobatoria mínima; pero sus ideas fueron vindicadas más adelante.

Sin duda esta experiencia le dio valor para avanzar una hipótesis radical sobre el origen de la vida: la teoría de la panspermia. Arrhenius proponía que ciertos microorganismos fueron expulsados de la atmósfera de planetas portadores de vida existentes en otros puntos de la galaxia. Estos microbios viajaron por el espacio interestelar en forma de esporas, impulsados por la presión de la radiación de las estrellas. Un superviviente de este proceso alcanzó la Tierra, y así comenzó la vida aquí.

Esta teoría no goza de crédito entre la mayoría de los científicos actuales, aunque de vez en cuando se deja oír alguna voz disidente. Carl Sagan y otros han argüido que es improbable que por esta vía haya llegado a la Tierra ni siquiera una espota en toda la historia del Universo. Además, cualquier microorganismo como los que conocemos moriría por efecto de la radiación, el frío y el vacío del espacio exterior.

Esos problemas desaparecerían, claro está, si los microbios hubieran llegado como pasajeros de una nave adecuada. En los años sesenta, Thomas Gold, de la Universidad de Cornell, proponía en

broma que los extraterrestres habrían venido de excursión a este planeta y se habrían ido sin dejarlo bien limpio. La vida terráquea comenzó con una bacteria que sobrevivió en una miga primordial.

Una variante más seria sobre el tema de la llegada de bacterias en naves espaciales es la desarrollada con cierto detalle por Francis Crick, codescubridor de la estructura en doble hélice del ADN. En 1973, un viejo amigo y colega, Leslie Orgel, publicaba un artículo titulado *La panspermia dirigida* en una revista de astronomía. Crick amplió después esta idea en un libro titulado *Life itself*. En el *Relato del viernes* de la Introducción he presentado su teoría, añadiéndole algunos detalles.

Francis Crick partía de la consideración de que, en un Universo que tiene más del doble de la edad de la Tierra, «hay tiempo suficiente para que la vida se desarrolle no una, sino dos veces una tras otra». Proseguía observando que «si bien no podemos dar de momento razones de peso para que un origen en otro sitio sea mucho más verosímil, resulta temerario asumir que las condiciones aquí eran sencillamente tan buenas como en cualquier otro lugar». Presentaba la teoría como una especulación, una idea que llegaba por delante de todo testimonio que la refrendara. En el libro, Crick señala: «Lo mejor que se puede decir acerca de la panspermia dirigida es que es realmente una teoría científica posible, aunque prematura.»

Uno de los motivos subyacentes a la publicación del libro era incrementar la conciencia del público sobre las dificultades que envuelven el tema del origen de la vida. Crick me lo explicó durante una entrevista personal: «Pensábamos en esta teoría, pero no estábamos demasiado convencidos [...]. El objeto [del libro] es brindar a la persona inteligente una idea de cuál es el *problema*, es como una percha sobre la que colgar nuestras especulaciones sobre el tema.»

Esta actitud escéptica y sosegada contrasta radicalmente con la manera como sir Fred Hoyle y su colaborador de toda la vida, el profesor Chandra Wickramasinghe, han presentado sus ideas al respecto. Nos encontrábamos con ellos en el *Relato del sábado* de la Introducción. Estos dos científicos se toman su teoría muy en serio y la presentan con convicción, incluso como ciencia cierta. Son astrofísicos, de manera que parten de un conocimiento detallado de las estrellas y de otros elementos que integran buena parte de la masa de nuestra galaxia: las nebulosas interestelares. Estos objetos, que conocimos de pasada cuando estudiábamos el origen del Sis-

tema Solar, nos son poco familiares, de modo que vamos a prestarles un poco de atención.

EL POLVO ESTELAR

Cuando pensamos en el espacio exterior, por lo general nos imaginamos multitud de estrellas, quizá con sistemas planetarios, separadas por el vacío más absoluto. En realidad, ese vacío total no existe. Moléculas y átomos solitarios vagan por el espacio interestelar. Su densidad media es inferior al del vacío más alto que se haya podido conseguir en los laboratorios terrestres, aunque varía muchísimo. En ciertos lugares, los átomos o moléculas están algo más agrupados y entremezclados con diminutas partículas sólidas, de un tamaño que las situaría en el piso -7 del ascensor de magnitudes. Estos granos de polvo, junto con los átomos y las moléculas libres, componen las nebulosas. En ellas, la densidad de la materia es todavía bastante baja, pero son tan grandes —años luz de diámetro— que una cualquiera puede contener una masa 100.000 veces la de nuestro Sol.

Las nebulosas han sido minuciosamente estudiadas mediante el telescopio. En unos casos se presentan como manchas oscuras que ensombrecen la luz de las estrellas que hay detrás. Algunas pueden ser observadas directamente, pues brillan con luz propia. Estas últimas han merecido una atención especial por parte de los astrónomos, porque en su interior se forman nuevas estrellas.

Una nebulosa estelar típica llega a durar millones de años. La materia que alberga puede originarse en las estrellas ya existentes y desprenderse como un suave viento solar, o aparecer convulsivamente, en una explosión. Los principales ingredientes de las nebulosas son el hidrógeno y el helio —como lo son del Universo entero—, aunque también hay elementos más pesados. Las reacciones nucleares intraestelares producen carbono, oxígeno, nitrógeno, silicio y otras clases de átomos que acaban en las nebulosas. Con el tiempo, estas sustancias se concentran en los planetas.

La formación de estrellas se desencadena cuando inestabilidades locales en el seno de la nebulosa hacen que parte de ella se colapse por gravedad. Los detalles del proceso no están claros, y no sabemos si la formación de planetas es un fenómeno raro o corriente. Para comprender estos procesos a fondo, los astrónomos han procurado ansiosamente conocer la identidad exacta de las molé-

culas y granos de polvo que componen las nebulosas. Si se pudiera recoger una porción de nube interestelar con una especie de aspirador cósmico y llevarla a un laboratorio terrestre, su análisis presentaría pocos problemas. Por supuesto, esto no se puede hacer, y la principal fuente de información en lo que concierne a su naturaleza química es la luz y otras formas de radiación que proceden de ellas o pasan a su través.

La luz que vemos con nuestros ojos es sólo una pequeña parte de un fenómeno mucho más amplio: la radiación electromagnética. Esta radiación incluye formas familiares como los rayos X, la luz ultravioleta, la infrarroja y las ondas de radio. Estas formas de radiación se diferencian unas de otras por una característica, la longitud de onda, que puede variar desde miles de metros para ciertas ondas de radio hasta menos de una billonésima de metro para los rayos cósmicos. Esta variación de longitud es tan grande que será mejor que la describamos con el ascensor de magnitudes. La longitud de onda de la luz visible caería en el piso -7. Las longitudes de onda de la luz ultravioleta, aunque más cortas, se encontrarían también en ese piso. Una longitud de onda infrarroja típica caería en el piso -6 ó -5, y una microonda en el -3. Los astrónomos han analizado la energía que nos llega a cada una de estas longitudes de onda desde las nebulosas interestelares, y los mejores resultados se han conseguido, con la ayuda de los espectros de microondas, en la identificación de moléculas pequeñas. La información recibida desde las nebulosas consta de una serie de picos, cada uno de los cuales representa una longitud de onda diferente. Esta serie de picos no revela directamente qué moléculas están presentes, pero es útil en un proceso de razonamiento inverso. Si el astrónomo supone que existen moléculas de una sustancia determinada en las nebulosas, primero obtendrá su espectro de microondas, o lo calculará si la sustancia es inestable en las condiciones terrestres. Si los picos medidos o calculados para dicha sustancia están todos representados en los espectros de las nebulosas, la conclusión a sacar es que esta sustancia está presente en ellas. Existe cierto margen de error, pero es pequeño, sobre todo cuando son muchos los picos asociados con una molécula y aparecen todos en el espectro de la nebulosa. Un informe de 1982 recogía cincuenta moléculas distintas detectadas por este método, un número suficiente para permitir algunas generalizaciones. Claro está, no hemos de olvidar una limitación importante: para detectar una molécula, primero se ha de sospechar su presencia.

Las moléculas identificadas hasta ahora contienen poquísimos átomos: una tiene trece, otra once y el resto nueve o menos. Los elementos representados en tales moléculas son: hidrógeno, carbono, nitrógeno, oxígeno, azufre y silicio. Se da toda una gama de moléculas orgánicas, algunas con enlaces raros o incompletos. Estas sustancias, que no resistirían en la Tierra, sobreviven en las condiciones de frío y vacío imperantes en el espacio exterior. Una sustancia familiar presente en las nebulosas es el alcohol etílico. Su densidad en el espacio es baja, pero la galaxia es tan inmensa que la cantidad total de alcohol es enorme: podríamos preparar con él millones de combinados, y llenar con ellos el océano Pacífico.

Se supone que existen aminoácidos en las nebulosas, pero hasta ahora no ha aparecido ninguno, ni siquiera la glicina, que tiene sólo diez átomos. Con el tiempo, cuando se fabriquen instrumentos más sensibles, se detectarán seguramente los más sencillos, pero es evidente que en todo caso no son abundantes. Las dos moléculas mayores detectadas hasta la fecha son sustancias bastante extrañas, ricas en carbono y desprovistas de hidrógeno; poco tiempo aguantarían en nuestro ambiente. En conjunto, la lista de moléculas halladas en el espacio podría ser calificada de colección bastante extraterrena.

A pesar de ello, algunos observadores la han empleado en apoyo de sus propias hipótesis predestinistas. La presencia de compuestos orgánicos simples en las nebulosas interestelares se considera un indicador del designio cósmico, una prueba de que la química cósmica discurre en la dirección de nuestra propia bioquímica específica. A este respecto, las nebulosas han desempeñado un papel semejante al test de Rorschach en psicología: cada observador ve en las figuras del test lo que desea. Tocaremos este tema de nuevo en un capítulo posterior, pero ahora hemos de ocuparnos de las minúsculas partículas de polvo de las nebulosas, que han resultado ser un estímulo aún más fértil de la imaginación.

Estos granos de polvo estelar son mayores y más complicados que las simples moléculas, de modo que sabemos menos de ellos. La espectroscopia de rayos infrarrojos y de ultravioleta han sido dos importantes fuentes de información. Nos entretendremos con ellas un rato, pues son muy importantes para nuestra investigación.

La espectroscopia de infrarrojos es una técnica con la que traté a menudo durante mis cursos de química orgánica como graduado. Por la época en que comencé mis estudios, era el instrumento más importante para explorar la estructura de productos orgánicos mo-

deradamente complejos (hoy día, claro está, se ha visto desplazado por técnicas más elaboradas y mucho más costosas). Aprendí que una sustancia pura produce un espectro que recuerda la silueta de una gran ciudad con rascacielos: una serie muy recortada de picos y depresiones. Este espectro no revela por sí solo la identidad del compuesto, pero ciertos picos, en determinadas posiciones, ofrecen una información definitiva, aunque limitada. A pesar de que la mayor parte del espectro no es fácil de interpretar, es bastante útil como huella dactilar, como clave de identificación. Mi tutor, R. B. Woodward, era famoso entre los químicos por su síntesis de laboratorio. Él fue quien ideó la primera síntesis de muchas sustancias harto conocidas, como la quinina, la estricnina o la clorofila. A menudo, el espectro infrarrojo del producto fabricado en el laboratorio servía de prueba concluyente de que la síntesis había sido un éxito. Si éste coincidía, pico a pico e inflexión a inflexión, con el del material natural, entonces Woodward proclamaba que la sustancia preparada y la natural eran idénticas.

Para un químico formado en esta tradición, la observación del espectro de una nebulosa es absolutamente descorazonadora. Dicho espectro es uniforme en su mayor parte y relativamente falto de rasgos distintivos, más parecido al perfil de una sierra que al contorno de una ciudad. Esta forma refleja las dificultades técnicas que entraña la obtención del espectro, así como el hecho de que los granos de polvo están formados probablemente por una mezcla heterogénea en lugar de una sustancia única. Con esta limitadísima información, los astrónomos han tratado de sacar algunas conclusiones acerca de la naturaleza general de los granos; sin embargo, no han conseguido ponerse de acuerdo ni siquiera en si son de carácter orgánico o inorgánico. Algunos investigadores han interpretado el espectro como si correspondiera a una mezcla de hielo, silicatos y otros minerales. Carl Sagan y sus colegas han propuesto que son *tolinas*, nombre que aplican a los alquitranes orgánicos, oscuros y pringosos, del tipo de los que resultan de las reacciones Miller-Urey. Como analogía de esta situación, imaginemos que intentamos identificar un individuo a partir de una única fotografía tomada de lejos en medio de la niebla: la resolución no permite siquiera un acuerdo sobre si la persona en cuestión es hombre o mujer.

Se ha obtenido alguna información complementaria sobre el polvo estelar a partir de su espectro en la banda del ultravioleta. Ciertamente, este tipo de espectroscopia es más limitado que el de

infrarrojos, pues casi todas las sustancias tienen un espectro infrarrojo pero sólo algunas tienen espectros ultravioletas en la banda que se usa habitualmente. Los datos sirven para la identificación de una sustancia sólo cuando, mediante otros métodos, el número de posibilidades queda reducido a unas pocas. El espectro de las nubes presenta sólo un montículo allí donde es más frecuente que se den estos espectros. Como en el Universo cabe la posibilidad de casi cualquier cosa, esto no da pie a ninguna conclusión en firme, aunque se han propuesto hipótesis que van desde una mezcla de compuestos orgánicos hasta el grafito (forma laminar del carbono empleada en la mina de los lápices y en algunos lubricantes). En resumen, la naturaleza exacta del polvo estelar es un enigma, y puede seguir como tal mientras no recojamos un poco y lo traigamos a casa.

La mayor parte de los científicos están de acuerdo con esta opinión, pero Hoyle y Wickramasinghe han tomado un rumbo distinto y llegan a una serie de conclusiones claras pero muy singulares acerca de la naturaleza de las nebulosas, mezclándolas con el origen de la vida. Antes de considerar sus teorías con más detalle, quizá convendría que conociéramos un poco mejor a estos dos caballeros.

DOS DISIDENTES

El más famoso de los dos, sir Fred Hoyle, ha tenido una carrera distinguida, con numerosas aportaciones en el campo de la astronomía. Él y sus colegas dedujeron por vez primera los procesos por los que se forman elementos pesados a partir de los más ligeros en el seno de las estrellas. Hoyle contribuyó asimismo al desarrollo de la teoría del estado estacionario del Universo. Según esta teoría, el Universo subsistirá indefinidamente en el estado actual, y, a medida que se expande, se crea de continuo materia nueva para mantener una densidad constante. Esta idea ha perdido el favor de la mayoría de los científicos y ha dado paso a la teoría de la gran explosión (*big bang*), según la cual el Universo se creó súbitamente en un momento determinado, hace quizá diez o veinte mil millones de años.

Hoyle nació en 1915 y su vida académica ha transcurrido casi por completo en diversos cargos docentes de la Universidad de Cambridge. Su carrera siempre ha estado marcada por la polémica en torno a cuestiones políticas y administrativas de la universidad.

A mediados de los años sesenta, dimitió de su cargo en la facultad de matemáticas y amenazó con emigrar a Estados Unidos. No obstante, permaneció en Cambridge al ser nombrado director del recién creado Instituto de Astronomía Teórica. Posteriormente dejó este puesto y abandonó su cátedra de Cambridge en 1972, a raíz de nuevas disputas políticas. En 1975, Hoyle ocupó la primera plana de la actualidad al afirmar que uno de sus ex colegas de Cambridge había recibido el premio Nobel por arrogarse el mérito de investigaciones realizadas por su ayudante. Ambos, premio Nobel y ayudante, niegan la acusación.

Pero estas controversias no son nada en comparación con los innumerables honores que ha recibido Hoyle, entre ellos diversos premios y medallas. Ha sido presidente de la Royal Astronomical Society, vicepresidente de la Royal Society y miembro asociado en el extranjero de la U.S. National Academy of Science. Fue nombrado sir en 1972.

Su talento se extiende más allá de la investigación, y llega hasta la literatura. Ha escrito textos de astronomía y libros de divulgación sobre la energía nuclear y los cambios climáticos planetarios. También es autor de diversas novelas de ciencia ficción, algunas escritas con la colaboración de su hijo Geoffrey. En 1969 preparó el libreto para una ópera, *The alchemy of love*.

N. C. Wickramasinghe es oriundo de Sri Lanka. Trabajó unos años en Cambridge, y posteriormente fue nombrado director del departamento de astronomía y matemáticas aplicadas del University College de Cardiff (Gales). Su especialidad son las nebulosas interestelares.

Las especulativas teorías de los dos astrónomos (nos referiremos a ellos como H. y W. en lo que resta de capítulo) saltaron a la palestra durante el período 1977-1981. Aparecieron completas en libros de divulgación, y ciertos aspectos se trataron con todo detalle en más de una docena de artículos publicados en revistas científicas. En los años anteriores a ese período, H. y W. presentaron, en diversas revistas, varios artículos más convencionales sobre las nebulosas. De 1977 a 1981, sus ideas parecen cambiar y desarrollarse casi de continuo, pero, en aras de la sencillez, las clasificaré en dos grupos distintos. Las opiniones expresadas en 1978 en *Lifecloud* (*La nube de la vida*) las englobaremos bajo el epígrafe de «teoría primitiva», mientras que las de *Diseases from space* (1979), *Evolution from space* (1981) y otros trabajos más recientes las denominaremos «teoría posterior».

LA TEORÍA PRIMITIVA

En esta versión, H. y W. argüían que determinadas moléculas importantes para nuestra bioquímica están presentes en el espacio exterior: «Una molécula de ácido fórmico y una de metanimina podrían reaccionar para producir el aminoácido más sencillo, la glicina, y se dan todas las razones para creer que esto ocurre extensivamente. Así pues, al parecer ya se desarrolla una química prebiótica bastante compleja en el estadio de colapso preestelar de las nebulosas interestelares densas.»

El ácido fórmico y la metanimina (otra molécula orgánica pequeña) figuran en la lista de sustancias identificadas en el espacio. La glicina, como señalábamos, aún no ha sido detectada, ni tampoco los autores presentaron prueba alguna sobre su presencia. Sin embargo, siguieron adelante con afirmaciones suplementarias en lo que concierne a la presencia de otros compuestos bioquímicos. Afirmaron que los granos de polvo están formados, con toda seguridad, por celulosa (un poco más adelante nos ocuparemos del fundamento de esta afirmación). H. y W. resumían: «Con la formación de estos materiales, parecen sentados los cimientos de la bioquímica.»

Sin embargo, las nebulosas no se llevan la parte de león en la teoría de H. y W. Tal honor les está reservado a otros cuerpos celestes: los cometas. Los cometas son los candidatos más notorios a protagonizar cualquier drama del espacio exterior, más que nada por su apariencia espectacular. Estos objetos, con su brillante cabeza y su larga cola, han aparecido en el cielo nocturno en diversos momentos de la historia humana, e inevitablemente han causado una profunda impresión. La presencia de un cometa se tomaba como señal de que se iba a producir un acontecimiento muy importante: «Cuando los pordioseros desaparecen, no se ven cometas. Los propios cielos proclaman a los cuatro vientos la muerte de los príncipes», escribió Shakespeare en *Julio César*.

Ahora sabemos que los movimientos y la historia de estos visitantes distan mucho de incidir en nuestras preocupaciones terrestres corrientes. Tienen la cabeza pequeña —quizás unos diez kilómetros de diámetro—, aunque la cola, mucho menos sustancial, puede alcanzar millones de kilómetros. Multitud de ellos describen órbitas más allá de Plutón, y lo han hecho así desde que se formaron cuando nuestro Sistema Solar adoptó su configuración presente. De vez en cuando, uno u otro se ve perturbado por algún acontecimiento

que lo arrastra a una nueva órbita, órbita que periódicamente le acerca mucho al Sol. Los cometas se componen, en gran parte, de hielo y otras sustancias que pasan con facilidad al estado gaseoso, de modo que al aproximarse al Sol estos materiales se evaporan y forman la cola. Entre 1985 y 1986, el cometa Halley nos ha brindado una vez más la más célebre manifestación de esta índole.

Los astrónomos, que no han reparado en medios para enterarse de qué otras sustancias puede haber en los cometas además de hielo, sólo han tenido contadas oportunidades de observar sus espectros. Han identificado algunas moléculas que ya habían sido detectadas en las nebulosas interestelares, y ninguna tiene más de seis átomos.

Sin embargo, en el argumento de *Lifecloud*, H. y W. sostienen que, en el momento de su formación, los cometas absorbieron grandes cantidades de material biológico procedente de las nebulosas. Los autores reproducen en ese libro la lista de moléculas identificadas en los cometas, pero le añaden a la misma «los polisacáridos y otros polímeros orgánicos afines». Respaldan esto con la afirmación siguiente: «En nuestra opinión, una explicación mejor es que muchos de los radicales que se observan son productos de disociación de polímeros orgánicos, como los polisacáridos.» (La palabra «radical» alude a moléculas orgánicas inestables con enlaces incompletos.)

En esta teoría de H. y W., se describe el estado de la Tierra primitiva como algo similar a la Luna actual, sin atmósfera. Esta carencia fue remediada por los numerosos aterrizajes suaves de los cometas, que aportaron los materiales necesarios. H. y W. consideran la hipótesis alternativa, aceptada por la mayoría de los geólogos, de que nuestra atmósfera se formó a partir de gases desprendidos del interior de la Tierra, y la desautorizan con estas palabras: «A esta explicación se oponen serias objeciones. Para comenzar, no está basada en indicio alguno.»

Una vez la atmósfera en su sitio, los cometas transportaron los ingredientes que faltaban para enriquecer la sopa prebiótica. Citemos de nuevo a los autores: «Si el espacio interestelar está lleno de moléculas prebióticas [...] es casi palmario que el origen de la vida terrestre no fue más que un juntar moléculas prebióticas interestelares.» Pero, contra lo que podría suponerse por este párrafo, no fue la Tierra el lugar elegido para cocinar la sopa, sino el interior de los propios cometas. Esto ocurrió en repetidas ocasiones, en el seno de muchos cometas, y se produjeron virus y bacterias. «Hace

unos cuatro mil millones de años, la vida llegó también [a la Tierra] procedente de un cometa portador de la misma.» Las «entregas» de organismos vivos han continuado posteriormente, estimulando la evolución.

LA REACCIÓN DE LOS CIENTÍFICOS

Tamaño provocación venida de un astrónomo famoso y un colaborador suyo no podía pasar desapercibida. La más adversa de las innumerables críticas recibidas fue quizá la de la bióloga Lynn Margulis. Según ella, «el libro es de una falta de seriedad ostentosa. Su argumento, además, es totalmente opuesto a la opinión de la mayoría de los investigadores de esa disciplina, si cabe considerar «los orígenes de la vida» como una disciplina. El libro es una ficción libertina, juguetona, divertida.»

Pero la reacción profesional a esta teoría no fue totalmente negativa, ni mucho menos. El astrofísico John Gribbin escribía en un libro titulado *Génesis** que esa hipótesis «ofrece la explicación más completa de lo que sucede en las nebulosas del espacio exterior». Cualquiera que sean las dificultades, «algo de lo que llevan en sí esas líneas se convertirá, con el tiempo, en opinión oficial». Hoimar von Ditfurth, autor de un libro muy vendido en Alemania sobre la evolución y el origen de la vida, expresaba una opinión análoga, añadiendo: «En las nebulosas de gas cósmico se forman espontáneamente moléculas muy complicadas, hasta llegar a los aminoácidos y el ácido ribonucleico.» El astrónomo W. M. Irvine y sus colegas de la Universidad de Massachusetts escribían en 1980, en un artículo publicado en *Nature*: «Se concluye [...] que los cometas pueden albergar moléculas orgánicas bastante complejas, y que pueden haber desempeñado un papel en el origen y, presumiblemente, incluso en la evolución subsiguiente de la vida terrestre.» Este artículo, sin embargo, trataba sólo de las temperaturas posibles en el seno de los cometas, no de su contenido.

La teoría primitiva de H. y W. consiguió un reducido grupo de partidarios entre los científicos. Se publicaron numerosos artículos técnicos en revistas profesionales de referencia, y a esos artículos hemos de dirigirnos para examinar la solidez de la teoría.

* Publicado también en esta misma colección.

LOS ARTÍCULOS DE H. Y W.

Hoyle y Wickramasinghe han razonado sus teorías valiéndose de datos de diversa procedencia. Para estudiar todos sus argumentos en detalle necesitaríamos un libro entero, no un capítulo. Nos limitaremos a tomar muestras de su trabajo, centrando fundamentalmente nuestra atención en una única afirmación importante y dejando que ésta represente el planteamiento general.

La afirmación de H. y W. que parece haber causado mayor pasmo es la identificación de los granos de polvo interestelar como celulosa, a partir de los espectros infrarrojos. Este polisacárido, quizás el producto biológico terrestre más abundante, es el principal material constituyente de la madera y de otras sustancias vegetales. Lo encontramos en el algodón y en el papel (de modo que es celulosa casi todo lo que tiene usted ahora delante de los ojos).

Esa identificación tuvo tanto impacto porque la celulosa es un material específico donde los haya, producido en la Tierra sólo por procesos biológicos. Cabría esperar que toda vía puramente química capaz de producir esta sustancia diera también otros muchos productos y originara una mezcla compleja.

Consideremos qué pasos serían necesarios para preparar celulosa. Las pequeñas moléculas de las nubes podrían reaccionar unas con otras de muy diversas maneras, lo que daría lugar a muchas clases distintas de compuestos orgánicos. Por lo que sabemos de química orgánica, no sería de prever que los azúcares fueran abundantes; y, en el caso de que lo fueran, podrían formarse centenares de tipos distintos. La glucosa figuraría, claro está, entre ellos; ahora bien, para obtener celulosa, las glucosas tendrían que buscarse unas a otras selectivamente, ignorando todos los demás azúcares, así como las innumerables moléculas que no lo fueran. Y aun en el caso de que se diera este improbable suceso, no todo estaría resuelto. Un químico especialista en hidratos de carbono ha calculado que existen 176 maneras distintas, todas posibles desde el punto de vista químico, de combinar tres unidades de glucosa. Para llegar a la celulosa, se ha de seleccionar una y sólo una de estas alternativas. Por si fuera poco, para cada glucosa que se añade a la molécula de celulosa surgen 20 nuevas posibilidades. Se necesitaría una enorme selectividad para conseguir ensartar las docenas de glucosas que componen una pequeña unidad de celulosa.

Si H. y W. hubieran sugerido que los granos de polvo son una mezcla orgánica compleja, o un material heterogéneo, inespecífico,

como las *tolinas*, poca atención habrían despertado. Sin embargo, la pretensión de que contienen celulosa parece casi invocar un milagro. Para aceptarla, habríamos de asumir que alguna fuerza predestinadora orienta la química interestelar por derroteros que conducen a nuestra propia bioquímica, o que seres vivos afines a nosotros andan sueltos por el cosmos. Para ser creíble, una afirmación de esta clase requeriría una documentación abrumadora, con detalles suficientes para diferenciar la posibilidad de la celulosa de todas las demás, que existen en número astronómico —y nunca mejor dicho—.

Podemos rastrear la evolución de sus pensamientos siguiendo sus artículos en orden cronológico. En uno publicado en *Nature*, en 1969, afirmaban: «Los granos interestelares pueden ser una mezcla de partículas de grafito formadas en estrellas carbonosas, y silicatos procedentes de estrellas gigantes ricas en oxígeno.» En 1974, Wickramasinghe había cambiado de opinión y se sentía atraído por las virtudes del polioximetileno, un polímero orgánico no relacionado con los seres vivos. Escribía: «Así pues, los granos de polioximetileno pueden explicar todas las extinciones interestelares observadas. A la vista de las identificaciones espectrales presentadas aquí, los granos de esta sustancia deben ser considerados como firmes candidatos a ingrediente principal del polvo interestelar.»

Esta candidatura fue descartada a principios de 1977. H. y W. promediaron los espectros de dieciocho polímeros orgánicos diferentes, y hallaron que la mezcla ofrecía un ajuste más satisfactorio al espectro infrarrojo de una nube interestelar. No obstante, el reinado de este nuevo paladín fue increíblemente efímero. En el último párrafo del artículo en el que publicaban las ideas mencionadas apuntaban que esta mezcla orgánica era menos importante en el cosmos que su nuevo favorito: los polisacáridos. Este comentario venía respaldado por una referencia a un nuevo artículo que aún no había sido publicado. Es evidente pues que, por esa época, sus ideas evolucionaban a toda marcha.

En *LifecLOUD* se arroja alguna luz sobre el proceso: «A principios de 1977 llegamos al convencimiento de que lo mejor sería hallar una sustancia química única para explicar todas las características de la radiación infrarroja de origen astronómico.» Y a los materiales biológicos se dirigieron, pero no pudieron hallar lo que buscaban. De repente, se les ocurrió una nueva idea:

Fue entonces, un tanto tardíamente, cuando nos planteamos una pregunta crucial: ¿cuáles son las propiedades infrarrojas de la más

abundante sustancia orgánica terrestre, la celulosa? Una rápida visita a la biblioteca y descubrimos, para nuestro asombro, que las mediciones de laboratorio para la celulosa en el intervalo de longitudes de onda de 2 a 30 micras mostraban justamente las bandas de absorción que estábamos buscando. Por otra parte, la celulosa estaba libre de bandas que estorbaran. Esta estrecha coincidencia [...] nos convenció de que existían fuertes razones, *prima facie*, para afirmar que el polvo interestelar se compone, en lo esencial, de celulosa o de algún polisacárido afín.

Por supuesto, ningún espectro medido en condiciones de laboratorio coincidirá exactamente con el de las nebulosas. Los espectros de infrarrojos «terrestres» tienen una plétora de detalles finos que faltan en los astronómicos, y es precisamente esta riqueza de detalles lo que los hace valiosos para la identificación de sustancias químicas. H. y W. modificaron el espectro de laboratorio de la celulosa, usando un método ideado por ellos mismos, para compensar las diferencias entre las condiciones existentes en la Tierra y las del espacio exterior, y obtuvieron una coincidencia mayor. Pero para apreciar el significado de este procedimiento, hemos de volver a la analogía de la figura lejana fotografiada en medio de la niebla. Supongamos que un observador asegura que el personaje retratado es, sin duda alguna, Ronald Reagan. Hace una fotografía del presidente y desdibuja con pintura los rasgos para imitar los efectos de la niebla. Luego compara esta versión ajustada con la fotografía brumosa, comentando similitudes tales como que ambas figuras tienen claramente dos brazos y dos piernas. Si nos convence esta comparación, entonces nos será fácil aceptar el argumento de H. y W.

Pero los dos científicos tampoco se sentían muy dichosos con la afirmación de que los granos interestelares están hechos de celulosa. Escribían en otro artículo: «Cabría esperar que una síntesis abiogénica [...] condujera a la formación de una mezcla híbrida de polisacáridos estables, no a un polisacárido único.» Hicieron una comparación usando un espectro promedio, transformado, de cuatro polisacáridos elegidos por ellos. Reconocían que podían haber confeccionado otras muchas combinaciones que también habrían coincidido con el espectro de las nubes, pero añadían: «Por supuesto, no se puede excluir ninguna mezcla híbrida de sólidos orgánicos que satisfaga este requisito. Pero esa mezcla será, de necesidad, inventada y *ad hoc*.»

Pronto recurrieron H. y W. a otro invento *ad hoc* de cosecha

propia. Varios meses después, observaron que su estrecha correspondencia albergaba todavía «dos importantes desviaciones». Una pudo ser remediada, suponiendo que en las nubes existía también un hidrocarburo, seleccionado al parecer por su capacidad para mejorar el ajuste. No consideraban que este procedimiento debilitase su argumentación, antes bien afirmaban que «apunta firmemente a la identificación de hidrocarburos de este tipo, que se pueden asociar con los granos de polisacáridos del espacio interestelar».

Como era de esperar, esta serie de entregas de H. y W. provocó una oleada de refutaciones técnicas detalladas. Pero los científicos que se entregaron a esta empresa podían haberse ahorrado el trabajo, pues al cabo de poco tiempo H. y W. llegaban a una conclusión muy distinta en lo que se refiere a los granos: no consistían en una mezcla de polisacáridos, con o sin hidrocarburos, sino más bien de bacterias liofilizadas. Los argumentos que pretendían respaldar esta nueva posición se publicaron en una revista de astronomía, porque la prestigiosa revista *Nature*, que con santa paciencia había publicado todas sus revelaciones anteriores sobre los granos de polvo, finalmente la perdió.

La espectroscopia de infrarrojos desempeñaba un papel secundario en la nueva ola de argumentos, pero H. y W. intentaron mantener cierto vínculo con el pasado: «Creemos que las propiedades ópticas del componente biológico quedan perfectamente descritas por nuestros datos de laboratorio para la celulosa.» Ahora bien, las bacterias, a diferencia de los árboles, no están hechas de celulosa. Sus paredes celulares externas contienen un polisacárido, pero muy distinto. Además, esas paredes encierran aminoácidos y otras sustancias importantes. Y si estos ingredientes adicionales no determinan diferencias en los espectros, entonces todas las identificaciones de H. y W. con espectros de infrarrojos son inútiles.

Hubieron de recurrir a maniobras evasivas de gran calibre para reconciliar la reivindicación bacteriana con el espectro ultravioleta de las nebulosas. Las principales sustancias bacterianas que absorben radiación ultravioleta son las proteínas y los ácidos nucleicos, y sus espectros difieren mucho de los de las nubes nebulosas, pero H. y W. atajaron el problema con la siguiente declaración: «Desgraciadamente, no disponemos de espectros ultravioletas de sistemas biológicos intactos, de modo que tendremos que abordar esta cuestión de una manera indirecta.» Consultaron un libro de 1964, *Interpretation of the ultraviolet spectra of natural products*, obra de

A. I. Scott, y seleccionaron nueve tablas. Sostenían que, una vez promediados, los espectros de las 186 sustancias relacionadas con estas tablas daban un espectro compuesto próximo al de las nebulosas. Según sus propias palabras: «Esta estrecha coincidencia entre nuestra curva calculada de absorción media y los datos astronómicos [...] presta un fuerte respaldo a nuestra opinión de que la absorción interestelar en estas longitudes de onda está dominada por cromóforos [porciones coloreadas] de biomoléculas.»

Por fortuna, encontré un ejemplar del libro de Scott, cubierto de polvo, en una estantería de mi oficina. Después de echar una ojeada a las tablas que H. y W. citaban, sólo me cupo concluir que no se habían molestado en leer las entradas de las mismas cuando calcularon el promedio. Si lo hubieran hecho, habrían reparado en la presencia de muchos compuestos ajenos a las bacterias e incluso a los seres vivos, que se incluían en las tablas para ilustrar cuestiones teóricas. Por ejemplo, la tabla de pirimidinas que ellos emplearon (las pirimidinas son una clase de bases nitrogenadas) contenía quince compuestos, la mayor parte de los cuales no tenían el más mínimo significado biológico, y omitía uno de los dos que se presentan normalmente en el ADN.

Al concluir esta inspección, me fijé en un detalle chusco: H. y W. ni siquiera habían sumado correctamente los compuestos, pues en las tablas que ellos citan sólo figuran 153 sustancias, no 186.

He dedicado unas líneas a los espectros para dar al lector una idea de la calidad de la ciencia contenida en estos últimos artículos. Al hacerlo he llegado ya a la teoría posterior, en la que se propone que los granos de polvo son bacterias. Examinemos más detenidamente estas ideas postreras de H. y W.

LA TEORÍA POSTERIOR

En una serie de libros de divulgación publicados entre 1979 y 1981, Hoyle y Wickramasinghe desarrollaron una segunda teoría, diferente en muchos aspectos de la anterior. He resumido las características más notables de la misma en el *Relato del sábado* de la Introducción. El cambio de actitud de una teoría a otra es extraordinario, visto el breve lapso de tiempo que las separa. Por ejemplo, la versión primitiva aceptaba el origen de la vida en el seno de una sopa prebiótica, afirmando: «El principio de este proceso es incuestionable [...] y, por otra parte, hoy día es prácticamente seguro que,

en otros muchos lugares del Universo y en innumerables ocasiones, se llevaron a cabo experimentos similares de ensamblado biológico.» Y, no obstante esto, Hoyle escribía tres años después: «Otra idea descarriada es la de que la vida empezó aquí, en la Tierra, en una aguada infusión de materia orgánica. El misterio está en por qué personas adultas se han dejado arrastrar por tales creencias, a pesar de existir un considerable volumen de datos en contra.» Y la sopa dejó su puesto a un creador.

En *Lifecloud*, H. y W. hablan de la teoría de Darwin en los siguientes términos: «Cuando se publicó en 1859 *El origen de las especies*, Darwin se encontró con el rechazo emocional de casi todos los sectores [...]. La teoría de Darwin, que hoy día se acepta sin discusión, es la piedra angular de la biología moderna. Nuestros propios vínculos con las formas más simples de vida bacteriana están suficientemente probados.»

Un tiempo después, sin embargo, escribían lo siguiente: «Estas conclusiones echan por tierra el darwinismo, que no puede explicar los cambios genéticos rápidos [...]. Como hemos visto en este capítulo, las especulaciones de *El origen de la especie* son erróneas. Nadie parece estar dispuesto a poner en la picota la evolución darwiniana. Si el darwinismo no estuviera conceptualizado como socialmente deseable e incluso esencial para la salud mental del cuerpo político, las cosas serían de otro modo.»

Junto a este repudio de muchas de sus convicciones anteriores, los autores volcaron numerosas ideas nuevas en esta teoría posterior. Con dilatados argumentos, rastrearon la influencia de la enfermedad, venida del espacio exterior por diversos medios, en el curso de la evolución biológica y la historia humana. Estos temas caen fuera del ámbito principal de este libro, pero no resisto la tentación de ofrecer algunos fragmentos selectos.

Puede aparecer cáncer, por ejemplo, cuando una serie de instrucciones genéticas venidas del espacio y destinadas a estimular la gemación de una levadura, cae por accidente en células animales o vegetales. «El fenómeno del cáncer es una consecuencia inevitable de las ideas presentes.»

Muchos acontecimientos de la historia humana tuvieron también por causa enfermedades procedentes del espacio. «La explicación de por qué los ejércitos clásicos fueron superiores a los medievales radica, claro está, en la enfermedad que asoló a los de la Edad Media [...]. Atribuimos también el auge del cristianismo a esa misma época cargada de enfermedades.»

H. y W. hicieron notar que la nariz de los seres humanos era también una prueba de su teoría. Hace un millón de años, cuando nuestros ancestros antropomorfos vivían en los bosques, su nariz era poco más que un par de orificios en medio de la cara. Luego se trasladaron al campo abierto, que era peligroso, «a diferencia del denso bosque cerrado, que brindaba protección efectiva contra la lluvia de organismos patógenos caída del cielo». El resultado fue una fuerte presión selectiva a favor del desarrollo de la nariz, como protección frente a las enfermedades producidas por la aspiración de esas peligrosas gotas.

Pero dejemos estos temas menores y volvamos al origen de la vida. Decíamos antes que H. y W. descartaron toda posibilidad de vías químicas espontáneas en favor de un creador. Sin embargo, no se decantaron por ninguna de las entidades invocadas por las religiones al uso, sino que definieron una ellos mismos. Escribían: «Aunque muchos desean suponer la existencia de un intelecto último y sin par, Dios, pocos se sentirán felices con la idea de unas inteligencias intermedias entre nosotros mismos y Dios. Y, sin embargo, seguro que tales inteligencias existen. Sería ridículo suponer lo contrario.»

Nuestro progenitor inmediato fue «un “chip” de silicio extraordinariamente complejo». Esos chips, tan vitales para las computadoras modernas, tenían la capacidad de computación necesaria para diseñar la primera bacteria. No lo hicieron con fines altruistas, sino más bien con la pretensión de que las bacterias evolucionaran hacia seres capaces de construir ordenadores, propagando así la vida siliciana por todo el Universo.

Como hemos visto, la primitiva teoría de H. y W. estuvo acompañada de artículos técnicos que trataban de sentar, por más que débilmente, la base científica de sus afirmaciones. Pero a medida que sus hipótesis se iban volviendo más extravagantes, la cantidad de datos que las apoyaban fue en baja. Exponían las ideas más fabulosas prácticamente sin más respaldo que su propia autoridad. Por ejemplo, escriben lo siguiente: «A no dudar, habrá personas que nunca aceptarán a ojos cerrados una afirmación positiva como ésta, personas que continuarán arguyendo que no se les viene encima ningún alud aun cuando la nieve les cubra la cabeza.»

Pero, si no hay datos, ¿cómo llegan H. y W. a conclusiones en lo referente, por ejemplo, a la jerarquía de las inteligencias que gobiernan el Universo? Al término del capítulo dedicado a este tema, afirman: «Lo más probable es que las conexiones de la secuencia

estén restringidas a esos súbitos destellos de la percepción que tan importantes puntos han marcado en las principales tendencias del pensamiento humano, como la conversión de Pablo en el camino a Damasco.»

Con este recurso a la Revelación como fuente de conocimiento, H. y W. completan su transformación de científicos a místicos. Han pasado por etapas de los artículos técnicos de los años sesenta y comienzos de los setenta, en los que hacían deducciones verosímiles, formidables y posiblemente correctas acerca de la composición química más probable de las partículas del polvo interestelar, a la posición esencialmente religiosa de los años ochenta.

En esta última posición, sacan conclusiones sobre la naturaleza del polvo interestelar y del Universo entero que tienen su origen en sus propias convicciones internas, no en el examen imparcial de unos resultados experimentales. Sólo presentan aquellos argumentos y testimonios que respaldan su posición. Cuando asistimos a una transformación tan extraordinaria como ésta, sobre todo en un científico tan destacado como sir Fred Hoyle, no podemos dejar de preguntarnos por las circunstancias que la provocaron. Y aunque no ha compartido sus pensamientos más íntimos con nosotros, sí ha dejado algunas claves en sus escritos.

Las convicciones teológicas y biológicas de Hoyle no son nuevas, forman parte de una visión unitaria en la que se incluye la teoría del estado estacionario del Universo. Según esta teoría, la edad del Universo es indefinida, existe desde hace muchísimo tiempo. Se necesitó todo este tiempo para permitir el desarrollo de la increíble cantidad de información existente en nuestro género de vida, y la aún mayor de los seres más inteligentes que quedan por encima nuestro en el escalafón cósmico. La entidad más antigua y más inteligente es el propio Universo. «El modelo del estado estacionario corresponde a un Universo que contiene en sí mismo su propia percepción, su propia divinidad.» Sin embargo, esta concepción desafía los dogmas fundamentales tanto de la ciencia convencional como de la religión judeocristiana, que coinciden en que el Universo se creó de repente, a partir de la nada, en un instante preciso. En opinión de Hoyle, los astrónomos atacaron su teoría «con una furia casi insensata», porque era una amenaza para su sistema de creencias. Éstas fueron las palabras de Hoyle: «Yo solía advertir que la comunidad de astrónomos vivía en un terror perpetuo de tropezar un buen día inadvertidamente con algo importante, y esa advertencia no aumentó mucho mi popularidad.»

Hoyle ha dado a entender que sus ideas biológicas se configuraron ya avanzada su carrera, a raíz de la teoría del estado estacionario. Algunos colegas míos han comentado en privado que simplemente se volvió un poco loco por aquella época. Sin embargo, otra fuente de información hace pensar que incubó todo su sistema de creencias durante mucho tiempo. La fuente de información es una novela de ciencia ficción escrita por Hoyle y publicada en 1957.

LA NUBE NEGRA

En la novela que lleva este título, una nube interestelar densa y compacta invade nuestro Sistema Solar y se traga la Tierra. Nuestro planeta se ve privado de la luz solar directa, lo que provoca un brusco descenso de la temperatura y una catástrofe mundial. Un grupo de científicos se reúne en Gran Bretaña para analizar la crisis y uno de ellos deduce que la nube está viva, declarando: «Me imagino que la química de la nube será extraordinariamente complicada: complicadas serán las moléculas, complicadas las estructuras edificadas con esas moléculas, complicada la actividad nerviosa.»

La nube no sólo está viva, sino que supera con mucho a los seres humanos en inteligencia. Se comunica con los científicos, manifestando su sorpresa al hallar vida inteligente en un planeta. El espacio es un lugar muchísimo mejor para ensamblar elementos bioquímicos.

La nube está dispuesta a compartir sus opiniones teológicas, además de su experiencia científica, con los seres humanos: «En conjunto, la religión convencional, tal como muchos seres humanos la aceptan, resulta ilógica en su intento de concebir entidades que están fuera del Universo. Como el Universo lo engloba todo, es evidente que nada puede existir fuera de él.» La nube presiente que existen inteligencias superiores en el Universo y, al final, parte en su busca.

Así pues, esta novela temprana contiene el alma de la filosofía que sustenta la posición última de Hoyle, por más que es anterior a la evidencia aducida en apoyo de ésta. Al término de su carrera, Hoyle quiso establecer como hechos convicciones que otrora presentó como ficción. Los logros científicos y el excéntrico sistema de creencias eran facetas distintas del mismo individuo.

Esta situación no es única en la ciencia. A principios de 1983,

en el periódico *The New York Times* se publicó un artículo que llevaba por título «¿Qué pasa cuando los héroes de la ciencia se extravían?» En el artículo se citaban las investigaciones del historiador Frank E. Manuel, y se hablaba de Isaac Newton y el naturalista Alfred Russel Wallace, entre otros. Newton se enredó en una búsqueda alquímica de elixires misteriosos y poderes ocultos, mientras que Wallace lo hizo en sesiones de espiritismo y otros intentos de comunicación con los muertos.

Un psicólogo, Ray Hyman, se había ocupado ya de estos casos. Al principio pensó que Newton y Wallace habían experimentado cambios patológicos, que simplemente habían perdido el juicio. Pero después de un estudio detenido, llegó a la conclusión de que su raciocinio había permanecido inalterado. Los mismos rasgos de la personalidad que les llevaron al éxito fueron también la causa del fracaso. Quizá podamos añadir a esta lista el caso de sir Fred Hoyle.

Esta excursión por el espacio exterior no nos ha hecho progresar en nuestra búsqueda del origen de la vida, aunque sí ilustra las dificultades que surgen cuando se abandona la actitud escéptica que demanda la ciencia. Hoyle y su colega empezaron con el estudio de datos experimentales y acabaron con una mitología propia que decidieron llamar ciencia. Se comprende que, en esta posición final, se vieran arrojados por otro grupo que había llegado a lo mismo por otro camino. Este grupo, los creacionistas, parte de las Escrituras y luego busca pruebas experimentales en apoyo de una posición preestablecida. Al aplicar el término «ciencia» a su sistema de creencias, llegan al extremo de confundir las dos disciplinas. Nos ocuparemos de ellos a continuación.

X. EL CREACIONISMO: LA RELIGIÓN COMO CIENCIA

«Las escuelas públicas de este estado darán un tratamiento equilibrado a la ciencia de la creación y a la ciencia de la evolución.» Así reza el comienzo de una enmienda introducida en la legislación de Arkansas, en el mes de febrero de 1981, con el oportunísimo título de *Ley para el tratamiento-equilibrado de la ciencia de la creación y la ciencia de la evolución*. Uno de los apartados de la ley estipula que «por “ciencia de la creación” se entiende todas las pruebas científicas de la creación y las deducciones derivadas de dichas pruebas científicas», mientras que «por “ciencia de la evolución” se entiende todas las pruebas científicas de la evolución y las deducciones derivadas de dichas pruebas científicas».

Para llenar de sustancia estas posiciones, se hacen seis afirmaciones de cada doctrina, desarrollando los puntos de vista enfrentados. La ciencia de la creación, por ejemplo, sostiene «la creación repentina del Universo, la energía y la vida a partir de la nada», mientras que la ciencia de la evolución defiende «la aparición, por procesos naturales, del Universo a partir de la materia desordenada, y de la vida a partir de lo inerte». La ciencia de la creación avala «un origen de la Tierra y de los seres vivos relativamente reciente», mientras que la ciencia de la evolución aboga por «un origen remoto para la Tierra y la vida: varios miles de millones de años para la primera y algo menos para la segunda». Otros tres puntos se ocupan de aspectos de la evolución darwiniana, y un cuarto de si hubo o no hubo diluvio universal.

Este proyecto de ley, la *Arkansas Act 590*, encontró poca oposición en el cuerpo legislativo y fue aprobado por un amplio margen en ambas cámaras al mes siguiente. Según un informe de *Science*, el gobernador Frank White firmaba la ley dos días después

«con un ademán muy ostentoso, sin leerla, y contra el consejo de uno de sus asesores legales».

¿Tenemos algo que objetar a la ley antes de examinar las pruebas sobre cada uno de sus seis argumentos? La respuesta tiene que ser sí, pues la construcción misma de las opiniones enfrentadas plantea problemas. ¿Tienen los estudiantes, gracias a esta ley, la libertad del comensal que pide su menú a la carta en un restaurante? En la encuesta Gallup citada en la introducción, el 38 % de los encuestados hacía suya la afirmación de que «el hombre ha evolucionado durante millones de años a partir de formas de vida menos avanzadas, pero Dios ha guiado este proceso, incluida la creación del hombre». Este considerable grupo de personas posee a la vez unas creencias listadas bajo el epígrafe de evolución y otras vinculadas con la creación. ¿Es que la opinión de este sector no cuenta?

Otras escuelas de pensamiento corren peor suerte, pues no pueden ser reconstruidas mediante combinación de las ideas catalogadas en las dos posiciones definidas. Por ejemplo, la teoría que podríamos llamar «la ciencia de Hoyle» defiende un Universo de edad indefinida, el desarrollo gradual de la vida, no por evolución, sino por medio de mensajes genéticos enviados desde los cometas, y una jerarquía de creadores, cada uno de los cuales crea al inmediato inferior en la escala. Hoyle ha tenido una brillante y reconocida carrera científica, y muchos aspectos de su teoría han aparecido publicados en revistas científicas respetables. ¿No deberían estar recogidas estas ideas en la ley de Arkansas si su consideración de la creación y la evolución fuera equilibrada?

Sin entrar aún en el meollo del asunto podemos ver ya que quienes han redactado la ley han trucado las cartas antes de repartirlas. Han escogido seis puntos entre los muchos que se plantean en el ámbito de los orígenes y la evolución, y los han agrupado de manera que resumen su propia filosofía. No existe ninguna conexión lógica o científica entre esos puntos, excepto la de que han sido incluidos históricamente en el sistema de creencias de los creacionistas. No existe ninguna otra razón por la que la creencia en un diluvio universal reciente tenga que estar vinculada con la creencia en la repentina aparición del Universo a partir de la nada.

Habiendo conferido así una posición especial a un sistema de creencias, los autores de la ley reducen todas las demás a un único sistema alternativo, «la ciencia de la evolución», que exhibe un punto de vista opuesto en las seis cuestiones que ellos plantean.

No es de extrañar que la *Arkansas Act 590* fuera recurrida casi

de inmediato ante el tribunal federal. El recurso fue presentado por un grupo de veintitrés organizaciones, entre ellas la National Association of Biology Teachers, las Iglesias metodista unificada, presbiteriana, católica romana, episcopal y otras, el American Jewish Committee y otras organizaciones judías, y la American Civil Liberties Union.

Antes de pasar a las cuestiones científicas y a la resolución del caso, merece la pena examinar los antecedentes históricos de este insólito conflicto entre un gobierno estatal y una sorprendente alianza de prácticamente todas las comunidades científicas y religiosas de Estados Unidos.

LA CREACIÓN DE LA «CIENCIA DE LA CREACIÓN»

Desde tiempos inmemoriales, la humanidad se ha servido tanto de aproximaciones científicas como mitológicas a la realidad, y no es infrecuente que de los dos sistemas surjan opiniones distintas. En particular, la controversia que condujo al pleito señalado arranca de un acontecimiento singular: la publicación en 1859 de *El origen de las especies* de Charles Darwin. La idea darwiniana de que el hombre no fue creado directamente por Dios, sino que evolucionó a partir de organismos inferiores, socavó los sistemas éticos erigidos sobre la especial y directa vinculación del ser humano con Dios.

El origen de las especies no niega directamente la religión, desde luego, sino sólo ciertos relatos literales de la Biblia. El propio Darwin lo dijo: «Parece absurdo dudar de que una persona pueda ser ardiente teísta y evolucionista al mismo tiempo.» La mayoría de las religiones de la tradición judeocristiana se han adaptado a la teoría de la evolución, considerando ciertas partes de la Biblia como una alegoría, un relato cuyo significado espiritual viene expresado mediante símbolos que no han de ser tomados por verdad literal. Por ejemplo, cada «día» de los siete de la creación divina ha de ser considerado como un período mucho más largo, de muchos millones de años.

En Estados Unidos, sin embargo, una rama de la fe cristiana, el fundamentalismo protestante evangélico, tomó un derrotero distinto. Este grupo cree que la Biblia no yerra, que hay que entenderla como verdad literal, tal como está escrita. Por lo tanto, la teoría de Darwin es incorrecta, y la evidencia que la respalda es defectuosa y errónea. Además, la difusión de este punto de vista «equivocado»

erosiona el fundamento ético de la religión y promueve la destrucción de nuestra civilización. Uno de los párrafos de una obra creacionista reciente, *The Bible has the answer*, de Henry Morris y Martin Clark, resume muy bien esta actitud: «La evolución no es sólo antibíblica y anticristiana, sino absolutamente acientífica e imposible. Pero ha servido, y de forma eficaz, de base pseudocientífica para el ateísmo, el agnosticismo, el socialismo, el fascismo y otras muchas filosofías falsas y peligrosas del siglo pasado.»

Este movimiento cobró considerable vitalidad e influencia durante el período que siguió a la Primera Guerra Mundial. La enorme pérdida de vidas y bienes habida en esa guerra testimonió el declive de la moral en los tiempos modernos e hizo trizas todas las ilusiones acerca del futuro de la sociedad cristiana. Para los partidarios de la libertad bíblica, un contraataque en el frente de la evolución se consideraba como esencial, y obtuvieron un importante apoyo en este sentido: William Jennings Bryan, el célebre político y orador, tres veces derrotado candidato presidencial, se unió activamente a su causa.

Bryan estaba muy influido por los libros sobre la Primera Guerra Mundial que aducían una relación entre el darwinismo y el militarismo germánico, y empezó a criticar la enseñanza de la evolución en las escuelas porque minaba las creencias religiosas y la moralidad de los jóvenes. Aunó fuerzas —con éxito en Tennessee, Arkansas y otros tres estados— para prohibir la enseñanza de la evolución, afirmando que «el movimiento barrerá el país y echará el darwinismo de nuestras escuelas».

La ley de Tennessee fue puesta a prueba cuando un profesor de segunda enseñanza, John Thomas Scopes, intentó enseñar evolución humana en 1925. Bryan se puso de lado de la parte acusadora, mientras un célebre abogado agnóstico, Clarence Darrow, asumía la defensa. La vista, celebrada en Dayton, Tennessee, atrajo la atención del mundo entero y fue bautizada con el nombre de «Juicio del mono». Scopes fue declarado culpable y multado con 100 dólares, pero más tarde se le indultó. El resultado técnico quedó eclipsado por un dramático enfrentamiento en el que Bryan prestó testimonio de pie y fue interrogado por Darrow acerca de sus creencias religiosas y científicas. Bryan, muy nervioso, admitió que él mismo se apartaba de una interpretación completamente literal de la Biblia. Concedió que los días de la creación pudieron haber durado más de veinticuatro horas, y que la Tierra podría muy bien tener más de unos miles de años de antigüedad. Agotado por el ca-

lor y la tensión del juicio, Bryan falleció a la semana de su conclusión.

El juicio supuso un fuerte espaldarazo para los evolucionistas en cuanto a publicidad favorable, pero los fundamentalistas consiguieron buena parte de sus objetivos. Para evitar la polémica, muchos textos de biología de segunda enseñanza redujeron drásticamente la parte dedicada a la evolución. Por ejemplo, Scopes se ensañó especialmente con la edición de 1914 del libro *A civic biology*, que contenía tres páginas sobre evolución y material relacionado con la misma en otras páginas; pues bien, la versión de 1926 de este texto eliminaba la mayor parte de la disertación sobre evolución, y la propia palabra desapareció del índice.

Las leyes antievolución se cernieron sobre los libros durante años, y la sentencia de Arkansas no fue declarada inconstitucional hasta 1968. Pero el movimiento fundamentalista, dividido en grupúsculos, languideció durante el período 1930-1960. Según lo hacía, se reanudó gradualmente la enseñanza de la teoría evolucionista moderna.

En 1957, el lanzamiento de la nave espacial soviética Sputnik despertó una oleada de dudas acerca de la competencia de la enseñanza de la ciencia en este país. La National Science Foundation subvencionó programas para mejorar los planes de estudio y los libros de texto, y la evolución reapareció como tema señero de la biología en la segunda enseñanza.

Pero, una vez más, el creacionismo resucitó para presentar batalla. En esta ocasión, la figura aglutinadora fue un ingeniero civil muy conocido, Henry M. Morris, que había llegado a la conclusión de que «Dios no está dormido». Su libro de 1961, *The Genesis flood* (escrito junto con J. C. Whitcomb Jr.), reafirmaba la interpretación literal de la Biblia. Sostenía que «la verdadera cuestión no es la exactitud en la interpretación de los diversos detalles de los datos geológicos, sino simplemente qué es lo que Dios ha revelado con su palabra acerca de estas materias». No obstante, Morris introdujo un rasgo nuevo en las publicaciones de este tipo: incluyó notas a pie de página y la publicó en un formato típico de libro científico. Así nació el creacionismo científico.

La interpretación literal de la Biblia cobró nuevos bríos, y en 1963 se fundó la Creation Research Society. Para poder ser miembro permanente de la sociedad se exige que los aspirantes tengan un título superior en algún campo de la ciencia y afirmen una promesa que incluye los siguientes puntos:

1. La Biblia es la palabra de Dios escrita, y, puesto que la creemos inspirada desde el principio hasta el final, todas sus afirmaciones son históricas y científicamente ciertas. Para los estudiosos de la naturaleza, esto significa que el relato del Génesis sobre los orígenes es una presentación objetiva de simples verdades históricas.

2. Todos los tipos básicos de seres vivos, incluido el hombre, son el resultado de actos creativos directos de Dios durante la semana de la Creación, tal como se describe en el Génesis. Cualesquiera cambios biológicos que se hayan producido desde la Creación han sido sólo cambios menores en los tipos originalmente creados.

Otros puntos de la promesa ratifican el diluvio universal, Adán y Eva, y la divinidad de Jesucristo. En 1981, la sociedad contaba con 650 miembros permanentes (con titulación superior).

Para el público en general se fundaron el Institute for Creation Research (ICR) y su análogo, el Creation-Science Research Center (CSRC), ambos en San Diego, California. El primero es el que más destaca hoy día, con Henry Morris como director y Duane Gish, bioquímico doctorado en Berkeley, como subdirector. Las opiniones de estos grupos más recientes son un reflejo de los de épocas anteriores. El CSRC sostiene, por ejemplo, que la evolución fomenta «la decadencia moral de los valores espirituales, lo que contribuye al deterioro de la salud mental y [...] al predominio del] divorcio, el aborto y las enfermedades venéreas».

Pero en los años setenta, la batalla por declarar ilegal la enseñanza de la evolución se perdió en los tribunales, de modo que los creacionistas decidieron contentarse con la siguiente mejor alternativa: que sus doctrinas se enseñasen en las escuelas junto con la evolución.

Existía un obstáculo a tal enfoque. La constitución de Estados Unidos prohíbe la enseñanza de la religión en las escuelas públicas. Ese país se fundó sobre el principio de neutralidad entre las religiones en liza. En el transcurso de la historia, no es infrecuente que un grupo religioso haya recurrido a la fuerza para imponer sus opiniones a otros, y, para evitar esta posibilidad, los autores de la constitución de este país decidieron dejar vacío el ruedo público en este aspecto. Así pues, si los creacionistas querían presentar sus doctrinas en las escuelas públicas tenían que ponerles algún disfraz. Para conseguir este objetivo, redactaron nuevas versiones de sus textos en las que suprimieron las referencias a Dios y otros aspectos manifiestamente religiosos, e introdujeron el concepto de «ciencia de la creación».

Destacado artífice de la nueva ofensiva legislativa fue Paul Ellwanger, de Carolina del Sur. La nueva estrategia aparece perfilada en una carta que le dirige a un camarada que asistió al juicio de Arkansas: «Permítannos un consejo: sean muy prudentes en lo referente a mezclar ciencia de la creación y religión de la creación. [...] Por favor, recomiende a sus colaboradores que no se dejen arrastrar a la trampa de la "religión", de mezclar las dos cosas, pues esas mezclas causan un daño incalculable en el frente legislativo.»

Para defender sus planteamientos ante los legisladores, los creacionistas apelaron a conceptos extraídos del sistema legal norteamericano. Así, había que exponer a los estudiantes las dos alternativas de la cuestión, como en un juicio. La libertad de expresión, la libertad académica y el juego limpio y honrado exigían que su versión fuera oída. La ciencia constituye un foro en el que se puede presentar todo género de datos y expresar toda clase de opiniones. El Bible-Science Newsletter aconsejaba la siguiente estrategia:

Venda más CIENCIA [...]. ¿Quién puede poner reparos a que se enseñe más ciencia? ¿Qué hay de polémico en ello? No emplee la palabra «creación»; hable sólo de ciencia. Explique que ocultar información que desautoriza la evolución es una forma de «censura» y huele a irrupción en el dominio del dogma religioso [...]. Usted está a favor de la ciencia; cualquier otro que busque censurar datos científicos es un carcamal y resulta demasiado doctrinario para prestarle atención.

Durante una temporada, la novedad de este nuevo enfoque les brindó victorias. Las juntas escolares se quedaron apabulladas. Durante la campaña presidencial de 1980, el candidato Ronald Reagan declaró: «Dondequiera que haya darwinismo en las escuelas públicas [...] también se debería enseñar la historia bíblica de la creación.» A principios de 1981, el cuerpo legislativo de Arkansas, después de una fulgurante avalancha de presiones de la Mayoría Moral, los evangelistas y otros grupos, aprobaba el proyecto de ley. Un artículo de Science describía la actitud del gobernador de la siguiente manera: «White, que se califica a sí mismo de cristiano "nacido de nuevo", tenía deudas políticas con la Mayoría Moral por la ayuda que había recibido de éstos para que saliera elegido, y vio en su respaldo una forma de pagarles.» Fuera cual fuere el motivo, el proyecto se convirtió en ley.

Los debates desarrollados en los recintos universitarios han sido instrumentos muy efectivos para la difusión de las ideas creacionis-

tas. En los últimos diez años se han celebrado más de un centenar de encuentros, con Henry Morris y Duane Gish representando muy a menudo el lado creacionista, y profesores de la localidad haciendo de abogados de la ciencia convencional. Se han contabilizado auditorios de hasta cinco mil personas, y los creacionistas han defendido su campo muy bien. Gish, en particular, ha actuado de una manera impresionante. Un colega, admirado, comentaba que «le falta tiempo para lanzarse al ataque, como un bulldog». El propio Gish añadía: «Voy a por la yugular.» En un libro manifiestamente partidista sobre estos debates, que lleva por título *From fish to Gish*, se muestran en una serie de viñetas de la cubierta un pez que evoluciona a lagarto, a marmota, a antropomorfo, a hombre de las cavernas, y se convierte por último en Gish, ¡que se come al pez!

Gish y Morris no son los primeros creacionistas en vapulear a sus adversarios profesionales. Harry Rimmer (1890-1952), un pastor presbiteriano, supuesto «científico investigador» y literalista bíblico, trabajó en el mismo circuito medio siglo antes. Dio muchas conferencias y, según su propio parecer, nunca perdió un debate público. Después de una discusión con un evolucionista, escribió: «El debate fue una victoria fácil, una masacre: un asesinato puro y simple. El eminente profesor denotaba un miedo espantoso al exponer cualquiera de los típicos argumentos de los evolucionistas, y falló como un petardo mojado.»

Muchas razones se pueden aducir para explicar esta buena marcha de los creacionistas, la de entonces y la de ahora. Las mismas características de los debates les proporcionan lo que buscaban con la ley de Arkansas. Los problemas elegidos dan publicidad a su punto de vista, y le confieren igual posición que a todos los demás juntos. La propia concepción del debate distorsiona la práctica de la ciencia, que no está construida sobre la base de una confrontación. La ciencia se define por su método, no por ninguna posición a defender. Unir la palabra «ciencia» a cualquier dogma fijo, como ciencia de la evolución o ciencia de la creación, es una contradicción. Sólo existe una ciencia, y ésta no comporta ninguna opinión apriorística. El peso de la evidencia determina las conclusiones, cualesquiera que puedan ser. En un debate, el reparto equitativo del tiempo entre ambas partes puede ocultar una enorme disparidad de peso en las pruebas que respaldan las opiniones enfrentadas.

Además, en los debates intervienen factores que nada tienen que ver con los méritos de las posiciones en lid. Los creacionistas

se presentan como el débil, como el que tiene un punto de vista novedoso y ha de vérselas con la concepción al uso, absolutamente anquilosada. Sus oradores llegan con la práctica de muchos debates a sus espaldas, se anticipan a las cuestiones que se plantean, se sienten a sus anchas. Los científicos están especializados, con un extenso conocimiento de los detalles técnicos de áreas muy limitadas, pero a menudo con poco o nulo dominio de cuestiones más amplias o de filosofía de la ciencia. No saben cómo desenvolverse en un debate. En uno televisado, Gish se enfrentó a Russell Doolittle, un bioquímico de la Universidad de California en San Diego. Doolittle terminó por ponerse nervioso, y perdió el debate, al decir de los medios de comunicación. Pero su actuación reflejó su habilidad para los debates, no los méritos de su causa.

Escéptico desea interrumpir el relato en este punto. Desearía saber más sobre el contenido de las posiciones creacionistas. ¿Qué material emplean en sus textos, en sus debates, en la revista trimestral que editan, aparte de las citas de la Biblia? No puede describir con más detalle las actividades del Creador, ni documentar sus capacidades con experimentos adecuados. ¿Qué llena, entonces, su literatura?

Los partidarios de la mitología buscan pruebas que respalden su posición, pero se cuidan mucho de hablar de resultados negativos si la búsqueda no tiene éxito (valga como ejemplo de ello el patrocinio creacionista de expediciones al monte Ararat en busca del Arca de Noé). Así y todo, estas actividades representan sólo una parte menor de sus esfuerzos. Su principal empresa es la crítica de la ciencia convencional en aquellas áreas donde ésta supone una amenaza para sus doctrinas. Los creacionistas hacen acopio de resultados anómalos, y critican la lógica y los procedimientos defectuosos que emplean los científicos. Cuando esto se hace de manera responsable, las críticas sirven realmente para un fin útil, ya que ayudan a identificar errores en la literatura científica. Sin embargo, los creacionistas se equivocan al suponer que esta actividad respalda su propia posición.

Es de esperar una cierta cantidad de anomalías y artefactos en la práctica normal de la ciencia. Pero su existencia no puede sustentar la idea fundamental de los creacionistas, que cae fuera de la ciencia, invulnerable a la refutación pero incapaz asimismo de afirmarse mediante experimentos científicos.

Como críticos de la ciencia convencional, sin ningún cuerpo de trabajos experimentales que defender, los creacionistas se hallan en

una situación envidiable. El científico que les planta cara, por contra, está en las mismas circunstancias que un boxeador que lucha contra un par de guantes a control remoto. Puede intentar defenderse del castigo, pero carece de objetivo sobre el que devolver el golpe.

La analogía anterior vale para el núcleo central de la doctrina creacionista: la creación súbita del Universo y todo lo que contiene por medios sobrenaturales. Pero, en ciertas áreas muy concretas, los creacionistas se han lanzado —quizás imprudentemente— a defender posturas en las que sí se puede poner a prueba su credibilidad. En particular, han mantenido que la Tierra existe desde hace apenas unos pocos miles de años. Pero la edad de nuestro planeta puede ser determinada por la ciencia imparcialmente, sin necesidad de referencia alguna a la existencia o inexistencia de un creador. En un capítulo anterior describíamos la amplia evidencia —obtenida por el estudio de los elementos radiactivos de los minerales— que respalda una antigüedad para nuestro planeta de unos 4.500 millones de años. Como exploración más minuciosa del valor del término «ciencia» en el contexto de «ciencia de la creación», examinemos la respuesta creacionista a estos descubrimientos.

LA EDAD DE LAS ROCAS FRENTE A LA ROCA DE LAS EDADES

«Los cristianos desean que a sus hijos se les enseñen todas las ciencias, pero no las quieren para perder de vista la Roca de las Edades mientras estudian la edad de las rocas», escribía William Jennings Bryan.

Los fundamentalistas, que consideran el tema de la edad de las rocas como una tentación concebida por Satanás, contemplaron con gran consternación el advenimiento de los métodos radiactivos de datación. A comienzos del siglo XX, en su debate con los evolucionistas la autoridad de la Biblia se comparaba con las deducciones un tanto inciertas realizadas a partir del examen de los sedimentos y los fósiles acumulados. El frente se hallaba relativamente estabilizado cuando, de repente, irrumpió una fuerza enteramente nueva en el escenario que trastornó el equilibrio. Se trataba de las técnicas de datación radiactiva, con una sólida base teórica y experimental —el estudio de los procesos atómicos y la radiactividad—, que proporcionaba fechas mucho más exactas. Hipotéticamente,

los nuevos resultados podían haber confirmado la opinión creacionista si hubieran dado testimonio de una Tierra joven; pero en realidad hicieron lo contrario y afirmaron el concepto de una Tierra viejísima sobre una base en verdad sólida.

La contrariedad que los creacionistas debieron haber sentido por estos adelantos queda perfectamente recogida en este razonamiento de Henry Morris en su libro *Scientific creationism*:

Las rocas no se datan radiométricamente. Muchas personas creen que la edad de las rocas queda definida por el estudio de sus minerales radiactivos —uranio, torio, potasio, rubidio, etc.—, pero no es así. La prueba evidente de que ésta no es la manera de hacerlo, es que la columna geológica y las edades aproximadas de todos los estratos fosilíferos estaban calculadas desde mucho antes de que nadie hubiera pensado u oído hablar de datación radiactiva.

El interés de esta declaración radica en su contenido histórico y emocional. Cabe evidenciar su lógica mostrando un razonamiento análogo en otro ámbito. Por ejemplo: muchas personas creen que la gente cruza el Atlántico en avión, pero no es así, y la prueba evidente de que no lo hacen de este modo es que se cruzaba el Atlántico en barco mucho antes de que nadie oyera hablar de aviones.

A pesar de estos absurdos razonamientos, son muchísimos los turistas que hoy día vuelan entre Europa y América, y muchas las rocas que tienen la edad establecida por métodos radiactivos. Los creacionistas, atados por su mitología, no pueden someterse sin más a los nuevos testimonios, sino que, de uno u otro modo, tienen que burlarlos. La estrategia más simple y honesta sería retirarse a una postura religiosa, y a veces lo hacen. Podemos citar a Morris directamente: «La única forma de determinar la verdadera edad de la Tierra es que Dios nos diga cuál es. Y como Él nos *ha* dicho, muy claramente, en las Sagradas Escrituras, que tiene varios miles de años de antigüedad, y no más, eso debe zanjar todas las cuestiones básicas de cronología.»

Una vez adoptada semejante posición de fe, no hay necesidad de que el creyente estudie la evidencia, no importa cuán abrumadora pueda ser. Sin embargo, si decidiera hacerlo, podría meterla limpiamente en su sistema de creencias usando un principio expuesto en un libro de Philip Henry Gosse, *Omphalos*, escrito hace más de ciento veinticinco años. El título del libro viene de la palabra griega que designa el ombligo, y alude a la cuestión de si Adán lo poseía. No había necesidad de que Adán tuviera ombligo, por-

que fue producto de un acto de creación directa, no de nacimiento. Pero la falta de él le habría puesto en inferioridad de condiciones respecto de los demás hombres. Gosse argüía que el Creador dio forma a Adán como si tuviera una historia, con ombligo, cabellos, uñas y otras características que entrañaban un pasado.

Análogamente, la Tierra habría sido creada con el aspecto de una existencia pasada. En el momento de la creación, los ríos ya discurrían por cauces, las rocas ya estaban meteorizadas, los sedimentos ya habían precipitado. Ampliando esta idea, podemos imaginar que un Creador tendría también el poder de crear un registro radioquímico de un pasado inexistente, colocando en las rocas cantidades adecuadas de minerales radiactivos, argón y otros productos de desintegración.

Un argumento como éste no podría ser contrastado ni refutado: sería mitología, no ciencia. Como tal, coexistiría con infinitud de alternativas. Por ejemplo, podríamos sostener, con igual validez, que la Tierra y lo que contiene (incluida nuestra memoria) han sido creados hace diez minutos. Esta afirmación no preocuparía al creyente, que *sabría* por adelantado que la explicación es correcta.

Pero los creacionistas han intentado hacer pasar sus doctrinas por ciencia, y con ello se han cargado una tarea formidable a las espaldas: hacer frente a la ingente montaña de testimonios aportados por los métodos de datación radiactiva. Han intentado desautorizar los datos con pretextos banales. Una estrategia de este tipo puede tener un efecto inmediato en un debate y servir para serenar los ánimos de los preocupados creyentes; sin embargo, a la larga tendrá poco peso, como veíamos —en otro contexto— en el caso del profesor del Cal Tech descrito en el capítulo 1.

El doctor Harold Slusher, la autoridad de los creacionistas en física y geología, ha escrito: «La edad de la Tierra ha recibido casi tantos valores como personas han estudiado el tema [...]. En la actualidad, los evolucionistas sostienen, con absoluta seguridad, que su “edad” media, calculada a partir de diversas técnicas radiométricas, es de 4.600 millones de años (con un error de unos centenares de millones de años). Después de que todas las afirmaciones que hicieron en el pasado han resultado ser erróneas, todavía se atreven a hacer ésta con el rostro bien serio.»

Claro está, Slusher critica la ciencia por ser ciencia, por proporcionar respuestas que están sujetas a revisión y mejora. Para quienes prefieren respuestas dadas realmente con seguridad y que nunca cambian, la religión es una alternativa mejor.

Henry Morris sigue una línea de conducta algo distinta, afirmando que «nadie puede saber posiblemente qué ocurrió antes de que hubiera personas para observar y registrar lo ocurrido [...]. Hablando en términos científicos, nadie tiene pruebas que respalden cualquiera de las fechas previas al inicio del registro escrito». Una vez más, el énfasis en «saber» y «pruebas» denota un ansia de seguridad. Es la religión, y no la ciencia, la que atribuye un valor especial a los registros escritos, históricos, o al menos a ciertos registros escogidos. Morris tendría que haber escrito «hablando en términos religiosos», no «hablando en términos científicos».

Estas desautorizaciones son sólo circunloquios. Los creacionistas saben que tienen que encarar la evidencia de los hechos si quieren presentarse como científicos. Tienen todo el derecho a intentar esta tarea, pues los paradigmas científicos no son sagrados y están abiertos al desafío. Pero al desafiarlos no se puede ignorar la evidencia que los respalda. La nueva solución ha de acomodar los datos previos y complementarlos con material nuevo y consistente, si nos la hemos de tomar en serio.

Para hacerme una idea aproximada de la cantidad de datos que se han obtenido usando métodos radiactivos de datación, visité la biblioteca científica de mi universidad, que no es que haya puesto especial empeño en la geología. Así y todo, había una estantería completa de libros sobre el tema de la geocronología. Uno de ellos, una obra de 250 páginas publicada en 1969, trataba sólo del método de datación potasio-argón. Sólo esta monografía contenía centenares de referencias a trabajos para los que se habían realizado miles de determinaciones individuales de la edad de nuestro planeta.

Cuando un esfuerzo de esta magnitud se orienta hacia alguna técnica científica, las fuentes de error reciben mucha atención. Los capítulos de la monografía mencionada describían los diferentes tipos de error y proponían métodos mediante los cuales se podían evitar o corregir. Una vez examinados estos defectos por extenso, se juzgaba que la técnica aún podía ser considerada muy fiable.

¿Cómo se podría derrocar una conclusión de este tipo, según la práctica habitual de la buena ciencia? Habría que atacar la montaña entera de testimonios de apoyo, piedra a piedra, y desmontarla. El doctor Harold Slusher ha intentado mover el primer guijarro: ha publicado un libro impugnativo, titulado *Critique of radioactive dating*. Sin embargo, esta monografía no es más que un panfleto: tiene cincuenta y ocho páginas, de las cuales sólo dedica dos a la da-

tación potasio-argón. No intenta realizar un examen equilibrado de los hechos, como en la monografía científica de la biblioteca de mi universidad, ni tampoco presenta evidencias nuevas, con datos que las respalden. Slusher se limita a citar fuentes posibles de error y asume que desacreditan la totalidad de la técnica.

Quizá tanto él como otros científicos de la creación lo han hecho tan bien como han podido, a la vista de la tarea que afrontan. Imaginemos, por ejemplo, que nos encargan una tarea tan irrazonable como ésta: demostrar que Japón venció a Estados Unidos en la Segunda Guerra Mundial. ¿Cómo procederíamos? Primero, tendríamos que desacreditar periódicos como el *New York Times*, que guarda un relato detallado, día a día, de la victoria norteamericana. Podríamos reunir primero errores tipográficos del *New York Times* y ejemplos de cuando publicó las fes de erratas retractándose de faltas anteriores. Después de eso, reuniríamos una lista de predicciones equivocadas: declaraciones optimistas de economistas, boxeadores profesionales y directores de campañas electorales, publicadas en ese periódico y que resultaron erróneas. Reuniríamos todos esos ejemplos y concluiríamos que el *New York Times* no tiene ningún valor como fuente histórica.

Luego publicaríamos un panfleto con la información «auténtica», y a la institución editora le pondríamos un nombre altisonante, como «Instituto de Investigación de la Victoria Japonesa». En ese boletín sacaríamos fotografías de la incursión de Pearl Harbor, transcripciones de las emisoras radiofónicas japonesas en tiempo de guerra en las que se aseguraba una victoria inminente, y las noticias actuales sobre la difusión de los coches y los restaurantes japoneses por todo Estados Unidos. Por último, podríamos exigir que a este punto de vista se le conceda el mismo tiempo que al convencional en las clases de historia de las escuelas públicas. No nos cabría esperar salir victoriosos de tal empeño, pero sería interesante ver la confusión que podríamos crear. Ésta ha sido la estrategia creacionista en las áreas que han escogido.

Las almas rectoras del movimiento no se hacen ilusiones sobre la verdadera naturaleza de las doctrinas que han presentado como ciencia, y se han mostrado extraordinariamente sinceros al publicarlo. Henry Morris ha escrito en su libro *Scientific creationism*: «La creación [...] es inaccesible al método científico. Es imposible concebir un experimento para describir el proceso de la creación, ni siquiera para averiguar si tal proceso puede darse. El Creador no crea al antojo de un científico.»

En otro lugar, Morris escribía: «Estamos completamente limitados a lo que Dios ha considerado oportuno revelarnos, y esta información está en su palabra escrita. ¡Éste es nuestro texto sobre la ciencia de la creación!» Duane Gish defiende los mismos conceptos en su libro *Evolution: The fossils say no!*: «No sabemos cómo creó el Creador ni de qué procesos se sirvió, pues empleó procesos que ahora no actúan en ningún lugar del Universo natural. Es por eso por lo que nos referimos a la creación como una creación especial. No podemos descubrir mediante la investigación científica nada acerca de los procesos utilizados por el Creador.»

La afirmación de que el Universo, la Tierra y la vida son obra de un creador indetectable que empleó poderes sobrenaturales cae fuera del ámbito de la ciencia, pues no permite hacer predicciones que puedan contrastarse. La ciencia no la puede negar, y si tuviera alguna posibilidad real de negación perdería muchas de las ventajas que ofrece a sus adeptos. Es mitología que sirve de contrafuerte a la religión. En este sentido, el empleo del término «ciencia de la creación» no tiene más significado que el que tendría la frase «ciencia del Padre Cuervo». Sólo la aplicaremos si nuestro deseo es arrancar la palabra «ciencia» del ámbito aceptado. William Jennings Bryan escribió poco después del juicio de Scopes: «La ciencia de cómo vivir es la más importante de todas.» Pero es precisamente este abanico de valores lo que la religión preferiría no abandonar a manos de la ciencia.

El organizador creacionista Paul Ellwanger ha aceptado el mismo punto central, afirmando: «No tenemos pretensiones científicas para la creación, sino que desafiamos la pretensión de la evolución de ser científica.»

Nuestro libro trata de los orígenes y no de los detalles de la teoría de la evolución, que se ocupa del desarrollo de la vida más que de su inicio. Otros han tratado el tema muy bien y con detalle. Con todo, hemos de hacer una pausa para analizar el comentario de Ellwanger, pues atañe a la distinción entre ciencia y mitología.

La teoría de la evolución tiene todas las características de una afirmación científica y es el paradigma dominante en su campo. Como tal, cabría modificarlo o incluso echarlo abajo si se acumularan suficientes pruebas de peso en contra. Por ejemplo, vemos a los seres humanos combatir a diario con los dinosaurios en las historietas y películas de televisión, pero si su coexistencia en el tiempo estuviera documentada por una serie de fósiles bien caracterizados, la evolución se vería en problemas. Alternativamente, si se re-

cogieran virus en el espacio con mensajes destinados a nuestra mejora, la teoría de Hoyle daría un paso al frente. Existen muchas vías para la negación de la teoría de Darwin. La evolución es ciencia; la ciencia de la creación, por confesión propia, no.

EL VEREDICTO

El juez Overton dictó sentencia contra la *Act 590*, empleando términos tan minuciosos en su decisión que apenas había lugar para la apelación. La sentencia se aplicó sólo en Arkansas, pero se tenía la impresión de que sentaría precedente para casos futuros. El juez basó su decisión en varias razones, incluidos los argumentos constitucionales y la libertad académica. Desarrolló una definición de ciencia coincidente en lo esencial con la que hemos usado aquí, y citó las palabras de los propios creacionistas al decidir que la ciencia de la creación no era ciencia, sino religión.

El juicio, aunque desigual, ofreció algunos testimonios interesantes. La parte creacionista intentó presentar como testigos a científicos en apoyo de su postura para equilibrar la riada de científicos de fama convocada por la parte contraria. La personalidad más reputada que pudieron presentar fue Chandra Wickramasinghe, colaborador de sir Fred Hoyle en su particular enfoque del origen de la vida. Lo invitaron —es de suponer— porque él y Hoyle habían avalado el concepto de que la vida en la Tierra era obra de un creador. Quizá los creacionistas ignoraban que el ser especificado por sus aliados era un complejo *chip* de silicio, y no una divinidad convencional. Si no era así, a lo mejor esperaban sembrar el desconcierto y la confusión entre los científicos ortodoxos.

Wickramasinghe se reafirmó en la opinión de que la vida es obra de un creador, pero dedicó la mayor parte del tiempo a hacer publicidad de sus peculiares ideas sobre los virus y los cometas. Convino luego en que ningún científico racional podía avalar la geología del diluvio o una edad para la Tierra inferior al millón de años. El juez Overton no sabía «cómo entender que el doctor Wickramasinghe hubiera sido convocado en favor de la parte demandada».

Esta decisión no ha resuelto el profundo conflicto más de lo que lo hizo el juicio de Scopes. En efecto, posteriormente se ha aprobado una ley creacionista sobre educación en Louisiana, asimismo impugnada por la American Civil Liberties Union. Un juez federal

ha desautorizado la ley, pero su sentencia puede ser apelada, y en el futuro pueden dictarse nuevas leyes de este tipo en otros estados.

La misma batalla se libra, a una escala más amplia, en miles de reuniones de juntas escolares locales, donde se establecen los planes de estudio y se aprueban los libros de texto. Los miembros de las juntas locales pueden llegar desprevenidos una tarde y tener menos posibilidades de defender la naturaleza de la ciencia que un juez federal. En estas contiendas, los creacionistas no están tan interesados en defender la práctica de la religión —cosa que pueden hacer de otras muchas maneras, menos controvertidas— como en tratar de subvertir la práctica de la ciencia en áreas donde las conclusiones a que llegan los científicos no les gustan.

Tanto la ciencia como la religión tienen su sitio en los asuntos humanos. A la postre, flaco servicio les hacen los intentos de borrar la distinción entre ambas. En el campo del origen de la vida, los creacionistas son el grupo que más lejos han llegado en esa dirección. Sus métodos incluyen la cita selectiva de datos, una ausencia absoluta de escepticismo hacia sus doctrinas y una falta de interés por los experimentos críticos y el concepto de refutabilidad. Por desgracia, no están solos en sus prácticas. Como hemos visto, la descripción anterior también se puede aplicar a los partidarios de muchas de las teorías existentes en este campo. La mitología ha calado tan hondo que se hace difícil juzgar el alcance real de nuestro conocimiento científico.

En capítulos posteriores examinaremos posibles medidas para remediar esta situación en el futuro, pero primero haremos una pausa para echar un vistazo al estado actual de la cuestión del origen de la vida.

XI. UNA DONCELLA DE DUDOSA VIRTUD

Una vez relajado el escepticismo en torno a los posibles paradigmas de un campo científico, resulta difícil detener el proceso. Aparecen entonces variantes que proclaman soluciones aún más extravagantes y espectaculares, y la proporción de mitología aumenta. En el caso del origen de la vida, hemos visto que los creacionistas marcan el punto final lógico de este proceso. Abandonan por completo la duda en beneficio de la voz de la autoridad, pero prefieren todavía, por razones estratégicas, llamar a su empresa «ciencia».

Para ilustrar esta idea, hemos examinado diversas teorías a lo largo de este libro (aunque no siempre en estricto orden creciente de proporción mitológica). Con esta secuencia no hemos pretendido dar a entender que cada idea nueva ha reemplazado a las anteriores en el dominio científico. Lo que más bien ha ocurrido ha sido que han coexistido, difundiendo cada cual su contenido con independencia de las demás, como los diversos transistores sintonizados en emisoras distintas en una playa.

Por lo general, estas «emisiones» están segregadas unas de otras en artículos, libros y conferencias separados. Sin embargo, a veces entran en estrecha proximidad con ocasión de alguna reunión importante, y los resultados son los que sería de esperar. En el tiempo que llevo escribiendo este libro, he tenido la oportunidad de vivir tal experiencia en persona.

En el mes de julio de 1983 se reunían en Mainz, Alemania, 250 científicos interesados por el origen de la vida: era el séptimo congreso internacional sobre el tema. La serie comenzó en Moscú, en 1957, y en los últimos tiempos se había acordado una convocatoria trianual. Éste de Mainz era el primero al que yo asistía, y el número

siete me parecía propicio: si, según la Biblia, sólo fueron precisos siete días para crear la vida (y también la humanidad y el Universo), a buen seguro que siete congresos internacionales serían suficientes para que los científicos se pusieran de acuerdo. Pero, como bien podría haber imaginado, no fue éste el caso.

La sede del congreso era de lo más representativo del estado de la disciplina. Mainz es una capital vieja, asolada y devastada por las innumerables batallas de su historia. Después de la Segunda Guerra Mundial, quedó separada administrativamente de los arrabales del otro lado del río y, según un representante de la alcaldía, no hay perspectivas de unión en un futuro próximo. Similar historia y estado de división caracterizan la cuestión del origen de la vida.

En la reunión se habían dado cita representantes de prácticamente todos los puntos de vista enfrentados. Los más numerosos pertenecían a la facción del ácido nucleico o a la de las proteínas, y el grupo más reciente, el de los partidarios de la arcilla, era también muy manifiesto. Oímos hablar de hiperciclos y replicadores, de nubes de polvo en el espacio y fuentes termales en la Tierra, de estromatolitos, coacervados y orbitadores planetarios. Aunque no asistió Fred Hoyle, un astrónomo describió la evolución química en el espacio y sugirió que los cometas habían lanzado materia orgánica (si no bacterias) a la Tierra primitiva. Ninguno de los asistentes se identificó como creacionista, pero en una ponencia se argumentó que tanto la vida como el Universo cobraron existencia no en un estado simple, sino ya muy estructurado. Stanley Miller comparó las síntesis de aminoácidos mediante descargas eléctricas en diversas atmósferas reductoras y casi neutras, y Sidney Fox habló de las propiedades parecidas a las de la vida de las microsferas. Las cosas seguían prácticamente como en el pasado.

De vez en cuando se daban unas pinceladas de dramatismo al yuxtaponerse puntos de vista enfrentados. Leslie Orgel presentó los nuevos resultados de sus experimentos, según los cuales una hebra individual de ARN es capaz de convertirse en una doble hélice sin el concurso de proteínas. Klaus Dose, uno de los organizadores de la reunión y destacado defensor de la hipótesis «la proteína primero», preguntó a Orgel que de dónde vino la *primera* hebra de ácido nucleico. Orgel, que se expresa de una manera increíblemente franca, fluida y concisa, respondió lisa y llanamente: «No tengo ni idea de cómo se originó el primer polinucleótido.» Dose, parafraseando a Louis Pasteur, comentó luego con Sidney Fox que en ese día se asestó un golpe mortal a la hipótesis del ácido nucleico.

Otra de las cuestiones controvertidas se refería a la preferencia de los seres vivos por aminoácidos zurdos y azúcares diestros. Varios ponentes describieron experimentos fallidos que intentaban atribuir la preferencia a fuerzas físicas elementales que actúan a escala atómica. Un anciano caballero de Austria expuso una opinión «heterodoxa»: que la selección había sido accidental. No se contentó con proponer su personal solución al problema, sino que, comentando las otras, afirmó: «Lamentablemente, los mayores esfuerzos en pos de la solución han tomado direcciones equivocadas.» Se preguntó luego por qué su propio y correcto punto de vista había sido descuidado, y, para corregir esta situación, abogó por que se abandonara todo intento de demostrar la teoría contraria.

No todos los enfrentamientos previstos se desarrollaron de este modo. A un destacado geólogo de la Universidad de California, Bill Schopf, se le concedieron cuarenta minutos para resumir el registro primitivo de vida fósil. Dedicó buena parte de ese tiempo a explicar por qué la *Isuasphaera* (véase la pág. 81) no era un fósil, sino un artefacto mineral. El siguiente orador, con una asignación de tiempo igual, era el que figura como principal defensor del carácter levaduriforme de la *Isuasphaera*, el científico alemán Hans Pflug. Pero Pflug no defendió su posición, sino que hizo un movimiento con la mano en el aire y dijo: «No voy a entrar en discusiones sobre si son organismos biológicos o no, todos conocen mi opinión a ese respecto.» Y se puso a hablar de otros asuntos.

Por lo visto, aparecer en el estrado de la sala de conferencias —un recargado salón con arañas en un palacio renacentista— era un honor en esta reunión. Había más asistentes deseosos de presentar su trabajo que tiempo disponible. Pocos fueron los elegidos para hablar, y el resto tuvo que contentarse con la presentación de un cartel. Se les asignó el espacio de un tablón de anuncios en una sala mucho menos elegante de la planta baja, y allí pudieron colgar el anuncio impreso de sus resultados. La exposición resultante parecía más una ringlera de anuncios en el andén del metro que una exposición de papeles científicos.

Con todo, esta exposición tenía la ventaja de que los carteles podían permanecer montados durante días, mientras que en la sala de conferencias la presión del tiempo era intensa. A Leslie Orgel, por ejemplo, que presentó algunos de los resultados más nuevos y sugerentes de la reunión, se le concedieron sólo diez minutos. En su disertación hizo repetidas alusiones a lo limitado de su tiempo. Otros oradores intentaron prolongar su discurso haciendo caso omi-

so del presidente, que agitaba el brazo para anunciar que el tiempo había expirado, o asegurando que sólo les quedaba una diapositiva y largando acto seguido toda una tanda de ellas.

Yo personalmente no pude sustraerme a la tentación del cartel y monté algunos rótulos que explicaban «La improbabilidad de la síntesis prebiótica de los ácidos nucleicos». Como por entonces estaba escribiendo este libro, me sentí algo así como un novelista que se ha incluido a sí mismo en la trama en el último capítulo, con cierta posibilidad de influir en sus personajes. Sin embargo, me venció la timidez y me pasé la mayor parte del tiempo leyendo los carteles de los demás, o de pie, a cierta distancia del mío, observando a quienes acudían a leerlo. Por lo que pude ver, sólo se acercaban quienes estaban de acuerdo con mi presentación, mientras que aquellos cuyo trabajo podía verse negativamente afectado por mis ideas permanecieron a prudente distancia. Al término de la reunión, un científico jovencísimo de la NASA me comentó que yo estaba «nadando contra corriente». ¡Vaya con el «golpe mortal» a la posición del ácido nucleico!

Otros adoptaron una actitud más decidida respecto a su propio trabajo. Clifford Matthews, un químico de Illinois, se dirigió a un llamado auditorio con toda la fuerza y el entusiasmo de un pregonero de carnaval. Su idea era que las nubes de polvo interestelar se habían formado por desintegración de planetas previamente existentes. En su cartel, un gran letrero preguntaba: «¿Dónde han ido a parar todos los planetas?», mientras él, señalando primero al cielo y luego al suelo, subrayaba que el material de ALLÍ procede de AQUÍ. Esa noche, después de una generosa degustación de vinos alemanes, nos reuníamos unos cuantos en torno a un piano y cantábamos el lema de Cliff en el tono que es de imaginar —el de la canción *¿Dónde han ido a parar todas las flores?*—, mientras él se unía al coro tan achispado como los demás.

Había transcurrido más de un cuarto de siglo desde que se celebró la primera reunión internacional sobre el tema, y en la de Mainz sólo estaban presentes unos cuantos de los participantes originarios. Vínculo entre la primera y la última fue el tiempo meteorológico. En Mainz hacía un calor inhabitual, y Stanley Miller me dijo que la reunión de Moscú había sido todavía más sofocante. Yo salía a menudo de la sala donde se celebraba la reunión para huir del calor y conseguir alguna bebida fresca.

La temperatura me fastidiaba sobre todo por la noche, en la habitación del hotel. No había aire acondicionado, de modo que tenía

que dejar las ventanas bien abiertas. Esto comportaba oír el ruido del tráfico, y la combinación de éste con el calor no me dejaba pegar ojo. Irónicamente, durante el día me costaba muy poco quedarme como un tronco en la sala de conferencias, y eso que era tanto o más canicular y ruidosa. Hubo una noche que consideré la posibilidad de levantarme y escuchar las cintas grabadas en la reunión durante el día, para ver si conseguía dormirme.

Por supuesto, la vinculación marxista con el origen de la vida había menguado mucho desde aquel primer congreso. Sólo una de las ponencias presentadas en Mainz hizo referencia expresa a los principios del materialismo dialéctico, en la medida en que éste relaciona el origen de la vida con la evolución de los seres y las sociedades superiores. En las actas de la reunión de Moscú, en cambio, figuran muchas referencias de este tipo. Por otra parte, aunque en el avance de programa del congreso de Mainz figuraba un buen número de participantes del bloque soviético, muchos no acudieron «por causas desconocidas». Los huecos sin carteles anunciaban en silencio su inesperada ausencia.

Un anciano biólogo soviético, A. A. Krasnovsky, presidió diversas ceremonias, manteniendo así la tradición iniciada por Oparin. Pero esta situación no fue planeada, sino que fue provocada por circunstancias desafortunadas. La reunión de Mainz era también la cuarta de la International Society for the Study of the Origins of Life (ISSOL), y Krasnovsky era el miembro más antiguo de dicha sociedad y uno de sus vicepresidentes. El presidente, F. Egami, del Japón, había fallecido en el ínterin desde la última reunión, y Cyril Ponnampereuma, el otro vicepresidente y ahora presidente electo, estaba enfermo y no podía asistir. Así pues, le cupo a Krasnovsky el honor de aparecer en el puesto de Oparin.

Tenía el cabello gris y vestía traje y corbata a pesar del calor. Unas veces parecía austero y temible, si bien en otras ofrecía un semblante más benévolo. En el curso de una recepción, aceptó un regalo de la alcaldía en nombre de la sociedad y aguantó los innumerables chapurreos defectuosos de su nombre con cierta impaciencia. Luego pronunció unas palabras con las que conminó a que no se mezclara la ciencia y la política: la ciencia de la vida es un tema en el que los científicos podrían finalmente ponerse de acuerdo. Confié internamente en que no tuviéramos que aguantar la respiración o dejar de dar cuenta de las abundantes existencias de vino alemán que se habían dispuesto para el congreso hasta que se hicieran realidad esos deseos.

Krasnovsky era también nominalmente el máximo responsable de la reunión ejecutiva de la ISSOL, pero en realidad fueron los norteamericanos quienes llevaron la voz cantante. El tesorero, Bill Schopf, presentó un pormenorizado informe del estado de las exiguas finanzas de la organización: unos pocos miles de dólares procedentes de las cuotas de los miembros. La mayor parte de la suma se había gastado en becas de viaje para que los estudiantes pudieran asistir a la reunión. No obstante, la actividad de ese sector de la ciencia se mantenía gracias al soporte económico de la National Aeronautics and Space Administration (NASA), mediante el cual se financiaba gran parte de la investigación y reuniones de diversa índole. El secretario de la ISSOL y director del boletín de la sociedad era Donald DeVincenzi, director del departamento de Washington que proveía los fondos de la NASA para investigaciones sobre el origen de la vida. Donald asistió a la conferencia para presentar un informe de los planes de la NASA para la exploración del espacio en lo tocante al origen de la vida, para estar al tanto de las realizaciones de quienes habían recibido financiación de la NASA y como supervisor de la ISSOL, todo al mismo tiempo.

La revista oficial de la ISSOL, *Origins of Life*, está también en manos norteamericanas, con Jim Ferris, del Rensselaer Polytechnic Institute, como director. Ferris informó a los miembros de la sociedad de la situación de la revista. Krasnovsky le preguntó si se reunía la junta editorial para aprobar el contenido de cada artículo, como era preceptivo en la URSS. Ferris respondió que esa práctica no era necesaria en las revistas norteamericanas, pues el director podía actuar por su cuenta. Su problema era otro: obtener originales suficientes para llenar la revista. En muchas revistas científicas importantes, la publicación de los artículos se retrasa a causa de la inmensa cantidad de manuscritos acumulada. Allen Bard, director del *Journal of the American Chemical Society*, me contó una vez que cada día llegaban a su mesa unos treinta artículos para revisar. Necesitaba dos secretarías y líneas telefónicas supletorias en su despacho de la Universidad de Texas para hacer frente a aquella avalancha. Sin embargo, en el caso de *Origins of Life*, la publicación se retrasaba por falta de originales suficientes con que llenar las cien páginas de un número de la revista. En un mundo científico que cruje bajo el peso de las publicaciones, estábamos en un rincón tranquilo y olvidado.

Una última cuestión administrativa era la elección de la sede de la siguiente reunión, la de 1986. La NASA iba a abandonar su pa-

pel de personalidad sojuzgada y sería la anfitriona de la próxima reunión en sus instalaciones del Ames Laboratory, en la zona de San Francisco. Pero se reconoció que la sede definitiva sería probablemente alguna universidad cercana, pues Ames estaba cercado y vigilado por razones de seguridad.

El acontecimiento social que cerró el congreso fue la cena de despedida, en la que se otorgó la medalla Oparin. Este galardón había sido concedido por vez primera, en la reunión de 1980, a Cyril Ponnampereuma. El nombre del siguiente destinatario era celoso secreto, como si fuera un Oscar. La medalla se había creado inicialmente con la intención de concederla a quien hubiera hecho la mejor aportación al estudio del origen de la vida en los tres últimos años, pero la reunión ejecutiva decidió prescindir de esta condición y otorgarla a la aportación científica de toda una vida.

Me pareció muy oportuno que fuera ésta la filosofía de la medalla. Durante los actos sociales del congreso, con frecuencia me encontré sentado junto a una persona desconocida, preguntándole qué rama científica practicaba; yo me presentaba como bioquímico, mientras que mi compañero podía ser geólogo, astrónomo o microbiólogo. En esos casos, me sentía como si estuviera en una taberna de mala fama y el borracho del taburete de al lado y yo nos hubiéramos dado repetidas seguridades de que en la vida real teníamos una actividad en común. Estábamos admirados y conmovidos ante el hecho, sabido, de que había gente en la taberna que no tenía otra identidad y se pasaba la vida entera en ella. Desde luego, merecen un reconocimiento especial —por supuesto, ninguna de las ofensas que la analogía anterior pudiera conllevar— quienes deciden dedicar toda su carrera, o una gran parte de ella, a un campo tildado a menudo de estar en el límite de la ciencia seria y respetable.

La medalla tomó el nombre de A. I. Oparin, quizás el primer científico reconocido que se entregó por entero a ese campo. Quienes siguieron su ejemplo eran los candidatos más apropiados para obtenerla. Pero ¿quién sería el ganador en esta ocasión? Dicho enigma se convirtió en el tema de conversación favorito de los congresistas.

Antes de la cena corrían rumores de que el galardonado sería Sidney Fox o Stanley Miller. Yo estaba convencido, por observaciones personales, de que sería Miller. Había ido con él a un concierto a principios de la semana, y por su actitud en nuestra agradable charla durante la velada pude percibir a las claras que barruntaba

que iba a ser galardonado en un futuro próximo. A mediados de semana, su humor se animó ostensiblemente. En la reunión ejecutiva, llegó tarde y se sentó junto a Bill Schopf. Se dieron la mano y luego, fijándome en los labios, vi que Stanley le preguntaba a Schopf: «¿Lo saben los miembros?» Schopf negó con la cabeza. Para mí, al menos, el suspense terminó en ese momento.

La cena se desarrolló en el mismo salón grande y recargado que había albergado las conferencias. Me gustó la idea de que el mismo espacio que había servido para la confrontación fuera ahora escenario de encuentros más informales. No obstante, cuando llegó la hora de tomar asiento, los asistentes se repartieron según las constelaciones de costumbre. Yo no tenía compromisos y opté por un asiento en la mesa de los de la arcilla, junto a Cairns-Smith y su colaborador más directo en tal tema, el calvo y barbudo Hyman Artman, del MIT. Ambos estaban absortos en los planes para una futura conferencia sobre arcillas a celebrar en Glasgow, pero me vi recompensado con la compañía de una alegre científica de la NASA, que me habló de los problemas de las mujeres en la ciencia.

Como me esperaba, era Miller el escogido para el premio. Recibió la medalla de manos de Krasnovsky, quien recordó su primer trabajo sobre la formación de los aminoácidos y expresó su confianza en que fuera él quien diera respuesta al «siguiente paso: la formación del código genético». En su discurso de aceptación, Stanley, muy prudente, evitó ese tema y ofreció un relato informal, sincero y fresco de las circunstancias históricas que rodearon su célebre experimento. Habló de los primeros resultados negativos y de su perseverancia: «No me interesaba el petróleo. Decidimos que los aminoácidos eran la cosa más emocionante que podíamos buscar.» La medalla y la oportunidad de recordar aquellos tiempos hicieron de él un hombre feliz.

Luego, una vez servidos todos los platos, pronunciados todos los discursos y consumido todo el vino, cada delegado se fue por su propio, particular y solitario camino. Se encontrarían en otras reuniones, en los meses y años venideros, para intercambiar las mismas opiniones. Los que llegaron con el convencimiento de que tenían algunas o todas las respuestas al origen de la vida, con el mismo convencimiento se irían. Los que llegaron con las dudas de Escéptico, aunque animados por la esperanza de hallar alguna respuesta nueva y convincente, también se volverían tal como llegaron. El fragmento que falta, la pieza que haría que todas las demás encajaran, quedó para el orden del día de futuras reuniones.

POLVO EN EL MUSEO

Al poco de regresar del congreso de Mainz, decidí volver a visitar una de las primeras exposiciones que había visto sobre el origen de la vida. El American Museum of Natural History de Nueva York ha mantenido una exposición sobre el tema durante los últimos veinte años. Varias vitrinas se alinean junto a un modelo gigante del ADN en tres dimensiones. Dentro de las vitrinas hay fotografías de microsferas, un diagrama de un aparato Miller-Urey, una descripción de la sopa prebiótica y referencias bibliográficas para lecturas complementarias. Recordé el aspecto de esta exposición, nueva, brillante, provocadora, poco después de su inauguración a principios de los años sesenta. Ocupaba el mismo espacio dos décadas después, pero los bastidores estaban llenos de polvo y la iluminación era tan débil que apenas se podían descifrar las palabras. La lista de referencias no tenía ninguna posterior a 1964. El vecino modelo de ADN, mejor iluminado, parecía vigoroso en comparación.

El triste destino de esta exposición ilustra, en cierta forma, el estado de esta rama de la ciencia. Ello se debe en parte a su estrecha identificación con el programa espacial. En medio de la euforia que siguió al proyecto Apolo, las respuestas a muchas incógnitas fundamentales parecían estar a mano. ¿Quién podía pronunciarse sobre qué información básica acerca de la vida nos llegaría de la Luna? A su regreso, los primeros astronautas que pisaron suelo lunar fueron sometidos a una rigurosa cuarentena para evitar cualquier infección procedente de este astro. Aunque no se preveían organismos vivos en la superficie lunar, el polvo selenita podía contener abundantes materiales orgánicos, quizás esporas en estado latente. En lo que se refiere a Marte, H. G. Wells, Orson Welles, Edgard Rice Burroughs y Ray Bradbury nos habían calentado la imaginación durante años. Quizá bastara con colocar una cámara en la superficie para identificarlo todo, desde plantas exóticas a criaturas del tamaño de osos.

Con tales expectativas, la realidad no pudo ser más descorazonadora y desconcertante. El entusiasmo por el programa espacial en general, y la exobiología en particular, se desvaneció, y con él la provisión de fondos para la exploración planetaria en la NASA. En el momento álgido del proyecto Apolo, el vicepresidente de Estados Unidos preconizaba que una nave tripulada hollaría Marte para finales de este siglo, pero ya en los años setenta nos hicimos

a la idea de que la exploración futura se realizaría mediante naves espaciales no tripuladas. A principios de los años ochenta, incluso este plan, menos ambicioso, era puesto en entredicho, y todo el programa de exploración planetaria parecía encaminado a la extinción. Las dificultades de ese período estaban relacionadas con la fuerte reducción de los gastos federales que siguió al cambio de gobierno, pero los recortes en las partidas para exploración planetaria empezaron mucho antes. Hoy día, nuestro país no es sensiblemente más pobre de lo que era diez o veinte años atrás, y si ahora se quiere invertir menos que antes en exploración del Universo, la diferencia hay que achacarla a una pérdida de ilusión, no al empobrecimiento.

Esta mengua de fondos ha venido acompañada de un hundimiento de algunos científicos en el pesimismo, en todo lo relacionado con la exobiología, como si una cosa estuviera ligada a la otra. Por ejemplo, Lynn Margulis, de la Universidad de Boston, a la sazón responsable del Comité de Biología Planetaria y Evolución Química de la Academia Nacional de Ciencias, escribía en la revista *The Sciences*: «En la actualidad no hay pruebas de que exista vida en ningún otro lugar de nuestro Sistema Solar.» Como no estaremos dispuestos a viajar a otras estrellas durante algún tiempo, «las posibilidades de detección directa de vida allende la Tierra en un futuro próximo parecen muy remotas».

Las perspectivas se tornaron aún más remotas a raíz de la publicación de un informe del susodicho comité, en el que se afirmaba: «Damos por concluida la búsqueda de vida actual en el Sistema Solar, pues hay pruebas contundentes de que ni los planetas (aparte de la Tierra) ni sus satélites ofrecen condiciones compatibles con el mantenimiento de la vida.» Por supuesto, si no se explora, difícilmente podrán realizarse descubrimientos exobiológicos.

Este pesimismo injustificado ha preparado el camino para ideas aún más tristes. Por ejemplo, el físico Michael Hart y otros han argüido que podemos ser la única vida existente, al menos la única inteligente. En ese caso, nuestro origen puede ser el resultado de un suceso muy improbable, cuyos detalles han desaparecido para siempre junto con la Tierra primitiva. Según esta lógica, todos los esfuerzos por hallar una respuesta científica al origen de la vida serán infructuosos.

Así pues, el desaliento en lo que se refiere a la detección de vida en otros lugares se propaga a las perspectivas de la investigación del origen de la vida aquí. Por otro lado, existe una relación

entre estos dos temas más directa que la ideológica. En este país, la financiación de las investigaciones sobre el origen de la vida es, en buena medida, competencia de la NASA, y la influencia de este organismo en dicho campo es muy profunda —más de la mitad de los miembros de la ISSOL proceden de Estados Unidos—.

El organismo espacial justifica este vínculo al suponer que «todas las etapas del origen y la evolución de la vida están intrínsecamente enlazadas con los procesos físicos y químicos de la evolución del Universo». Por supuesto, esta afirmación es cierta en la medida en que la vida no podría haberse originado en la Tierra, o no podría haber llegado a ella, si el planeta no se hubiera formado por los procesos que dieron lugar al Sistema Solar. Sin embargo, los pasos específicos del origen de la vida aquí bien pudieron estar gobernados por factores locales del medio ambiente de este planeta y no guardar relación alguna con los acontecimientos químicos de los cometas o de las nubes de polvo interestelar.

En este momento siguen abiertas muchas posibilidades en cuanto al origen de la vida, incluido el vínculo cósmico, de modo que el interés de la NASA por el problema parece justificado. Muy extraña resulta, sin embargo, la falta de interés de otras instituciones federales. Según el administrador de la NASA, Donald DeVincenzi, «las restantes instituciones todavía no han asumido esa participación directa en la investigación del origen de la vida. Si se les pregunta por qué, no ofrecen una respuesta muy lógica. Se limitan a decir que eso corresponde al programa de la NASA».

Sean cuales sean las razones, esta concentración de poder de financiación parece muy desafortunada. Habrá posturas y puntos de vista que gozarán de preferencia, y los perdedores no dispondrán de recursos alternativos. Además pueden surgir peligros de mayor envergadura e irse al traste la financiación de todo este campo de investigación.

Durante el verano de 1982, coincidí con un viejo conocido, Gerry Soffen, en un congreso en New Hampshire. Veinte años atrás, ambos habíamos trabajado como investigadores del departamento de bioquímica de la Universidad de Nueva York y juntos habíamos pasado ratos muy agradables. Renovamos este hábito y nos fuimos a dar una vuelta por el parque del Dartmouth College. Durante el paseo, me preguntó si convendría interrumpir el apoyo de la NASA al origen de la vida. Gerry estaba hablando en broma, haciendo de abogado del diablo, pero en cuanto oí la pregunta tuve un presentimiento. En la actualidad él es el jefe de DeVincenzi, el director de

todos los proyectos biológicos de la NASA, pero en el futuro podría ocupar su lugar alguien menos interesado en estos temas.

No se dude de que las presiones económicas en la NASA repercuten en el estudio sobre el origen de la vida; sin embargo, el declive de ese campo no se puede achacar sólo a las dificultades del programa espacial. El entusiasmo de hace veinte años se nutrió de la aparición del paradigma de Oparin-Haldane. Este nuevo paradigma rescató el tema de la decadencia en que se había hundido a raíz del descrédito de la generación espontánea. Con anterioridad, según afirmaba Oparin en 1957, los científicos creían «que el problema del origen de la vida era insoluble y que trabajar en él era indigno de un investigador serio y una absoluta pérdida de tiempo». Es evidente que Oparin estaba convencido de que la nueva teoría le había dado la vuelta a la situación.

Por aquella época, reinaba en el ambiente la sensación de que de un momento a otro podrían descubrirse muchas síntesis nuevas y espectaculares, que confirmarían los conceptos básicos. Pero el esperado diluvio de descubrimientos no ha llegado, y actualmente la duda se cierne sobre las dos premisas fundamentales, la atmósfera reductora y la sopa prebiótica. La unidad científica se ha roto y las ideas más insólitas se han convertido en centro de interés. Sin embargo, muchos investigadores no han prestado atención a este cambio de circunstancias y continúan publicando escritos optimistas. Con demasiada frecuencia me encuentro con tales escritos, o con artículos de prensa que afirman que todos los problemas fundamentales han sido resueltos y sólo quedan pendientes los secundarios, como el origen del código genético.

Estas opiniones disminuyen aún más la poca credibilidad de que siempre ha sufrido el estudio del origen de la vida entre muchos científicos de otros campos. Lo he experimentado de primera mano con colegas de departamento, cuando les indicaba mi intención de dedicarme a este tema. Sus comentarios fueron desde el «¿cómo puede alguien aprender algo sobre eso?» hasta un preocupado «no queremos que te nos pierdas en el espacio exterior». Y mi experiencia personal no es única. Un editorial de *Nature*, en medio de la euforia de los años sesenta, comentaba: «Quienes trabajan en el origen de la vida se ven obligados a fabricar un cesto con muy pocos mimbres, lo cual contribuye en gran medida a explicar por qué este campo de la investigación aparece envuelto tan a menudo en profundos recelos.»

Este recelo se extiende también a los biólogos evolucionistas. Es

de suponer que quieren poner a salvo su campo, asediado por los creacionistas, de la acusación de estar asociado con otro menos afirmado. Un artículo sobre la polémica creacionista, aparecido en *The Sciences* en 1981, señalaba: «Los creacionistas han conseguido idear argumentos bastante ingeniosos contra la concepción evolucionista de los orígenes de la vida. En realidad, es posible que hayan descubierto y tocado el talón de Aquiles de la biología evolucionista moderna.»

En esta área en particular, los creacionistas están bien cualificados para criticar. Como grupo que ha intentado hacer pasar la mitología por ciencia, pueden identificar fácilmente a los rivales que tratan, siquiera sea de manera inconsciente, de colar la misma suplantación. Enfadados porque otra mitología ha superado la prueba de ingreso en las clases de ciencia, no entienden por qué a ellos les es denegado el mismo privilegio. Pero su solución, claro está, nos lleva por un derrotero absolutamente equivocado.

No queremos convertir las clases de biología en foros donde se otorgue igual tratamiento a mitos enfrentados, tampoco deseamos que el campo del origen de la vida siga en su actual reputación dentro de la ciencia, que recuerda la de una doncella de dudosa virtud cuya sola aparición en público traía consigo todo un coro de desagradables cuchicheos.

¿Cómo poder recuperar la credibilidad científica y tomar una dirección que permita el progreso en la resolución de los importantes problemas que quedan pendientes? A buen seguro que no será con las prácticas actuales, en las que se diseñan experimentos prebióticos para acumular pruebas con las que respaldar una postura contra las afirmaciones de las rivales. Lo que necesitamos son experimentos críticos, uno de cuyos posibles resultados sea pinchar los globos existentes. La idea de la refutabilidad es quizás el instrumento científico más útil en este campo.

Seamos realistas: pedir a quienes crearon los mitos actuales que los pongan a prueba y los dejen de lado si no resultan aceptables es como si pidiéramos a Henry Bastian que renunciara a la generación espontánea, o a Trofim Lysenko que aceptara la función genética del ADN. La tarea tiene que recaer en investigadores con experiencia en otras áreas más exactas de la ciencia. En vez de ignorar el campo del origen de la vida en público y reírse de él disimuladamente en privado, estos científicos deberían aplicarle sus rigurosos criterios e informar a los medios de comunicación con el oportuno «no conocemos la respuesta a esto».

La falta de respuestas completas a cuestiones importantes no deshonra ningún campo de la ciencia. Esta característica la comparten muchas áreas vitales de la investigación contemporánea, como las que se ocupan de los procesos de envejecimiento o de la naturaleza de la conciencia. Pero tampoco estamos sumidos en la ignorancia total. No nos enfrentamos a la disyuntiva entre una pintura acabada de un paisaje y un lienzo en blanco. En el caso particular del origen de la vida, los progresos de la geología, de la biología molecular y de la astronomía han proporcionado un marco a la pintura, y los experimentos negativos indican dónde se pueden localizar los planos de fondo. Además, aquí y allá tenemos unas cuantas pinceladas seductoras. Con algo de imaginación podemos eliminar posibilidades para hacernos una idea del aspecto que podría ofrecer la pintura acabada. Esos esfuerzos no tendrían por finalidad crear nuevos mitos, sino que llevarían bien clara la etiqueta «especulación». Serían conjeturas consistentes con los hechos ya conocidos, pero irían más allá y brindarían nuevas explicaciones no respaldadas por los datos científicos.

Las especulaciones pueden ser útiles e incluso vitales para la ciencia porque sugieren nuevos experimentos y nuevas direcciones de investigación. Ahora bien, quienes las hagan tienen la responsabilidad de ser explícitos sobre su naturaleza y planear experimentos que puedan refutarlas o confirmarlas. Con esta precaución en mente, dedicaré los restantes capítulos a describir el posible desarrollo de la vida en la Tierra, y propondré experimentos y exploraciones que puedan aproximarnos a una respuesta definitiva en lo concerniente a su origen.

XII. EN DEFENSA DE LA GALLINA

Ya vimos anteriormente la fuerte controversia sobre quién tuvo prioridad en el origen de la vida, si los ácidos nucleicos o las proteínas. La comparábamos con el debate sobre quién fue primero, si el huevo o la gallina. Después de ciertas consideraciones, descartábamos la sustancia hereditaria actual, es decir, los ácidos nucleicos. Ya en 1960, el premio Nobel Joshua Lederberg señalaba: «Existe cierta polémica en torno a si los primeros genes fueron ácidos nucleicos, y ello se debe por un lado a su elevada complejidad, y por otro a que su perfección insinúa un período de evolución química en vez de un golpe maestro.» Estas palabras son hoy día igualmente oportunas. Incluso los elementos componentes de los ácidos nucleicos, los nucleótidos, son moléculas intrincadas que contienen más de treinta átomos de carbono y exigen la unión específica de tres subunidades, con la eliminación de dos moléculas de agua. No es de extrañar que la síntesis prebiótica de nucleótidos se haya convertido en un problema que nadie sabe por dónde coger. Estas sustancias se desarrollaron probablemente mucho después de que la vida comenzara.

Si descartamos el huevo, sólo le queda una respuesta al acertijo: la gallina, es decir, las proteínas. Es hora de presentar su defensa. En las páginas que siguen argumentaré los siguientes puntos:

- 1) Un sistema hereditario basado en proteínas precedió al de los ácidos nucleicos.
- 2) El ARN apareció inicialmente como material de construcción, como soporte estructural de la síntesis de proteínas, y asumió su función hereditaria de forma gradual.
- 3) En una etapa posterior, el ADN evolucionó a su vez y se convirtió en la sustancia hereditaria. Esta evolución tuvo que ver

con la aparición de las células eucariotas hace más de mil millones de años, y facilitó el incremento explosivo de la tasa de evolución a partir de entonces.

Así pues, el archiconocido dogma central de la biología molecular que afirma que «el ADN fabrica el ARN que fabrica las proteínas» discurrió en sentido totalmente inverso durante el desarrollo de la vida. Al principio había proteínas; las proteínas engendraron el ARN, y luego ambos engendraron el ADN.

Antes de proseguir, hemos de deshacernos de Escéptico por un rato. Nos ha acompañado mientras analizábamos sucesivamente la generación espontánea, la hipótesis Oparin-Haldane, el gen desnudo, las ideas de Hoyle y el creacionismo, pero ahora es el momento de que vayamos más allá de los experimentos y presentemos nuestras propias especulaciones. Escéptico no es un entusiasta de este proceder y podría incluso entorpecerlo, de modo que prescindiremos de él.

Actualmente, cualquier consideración de la vida sin el sistema hereditario de los ácidos nucleicos es pura especulación. El único tipo de vida que conocemos es el que medra hoy en la Tierra, y toda ella se sirve de los ácidos nucleicos de esta manera. Sólo nos cabe imaginar cómo podría funcionar la vida sin ADN y ARN. Aunque en principio únicamente ha de limitarnos nuestra inventiva, en la práctica hemos de imponernos ciertas restricciones para no producir ciencia ficción en vez de ciencia plausible. Por esta razón, nos limitaremos a enumerar las nuevas suposiciones que hacemos, y nos moveremos, en lo posible, dentro del marco convencional de la ciencia.

LA VIDA SIN ÁCIDOS NUCLEICOS

Para empezar, supondremos que las proteínas transmitían su propia herencia antes de que idearan los ácidos nucleicos como mecanismo mejorado para tal fin. Diversos científicos han explorado esta idea y proponen sistemas para la reproducción de las proteínas similares a los empleados por los ácidos nucleicos. De alguna manera, un aminoácido en disolución se emparejaría directamente con un consorte determinado en una cadena proteínica, de modo que la secuencia de aminoácidos de la cadena en construcción estaría controlada por la existente. La multiplicación del ADN opera de esta manera, según las normas de apareamiento de bases, des-

cubierta por Crick y Watson. Se han hecho algunas conjeturas en lo que se refiere a posibles sistemas de reconocimiento directo por aminoácidos; sin embargo, no se ha presentado ninguna demostración convincente, aunque cabría una si tal sistema existió. Pero la respuesta se encontrará quizás en otra dirección.

Si las proteínas hubiera podido reproducirse directamente, mediante algún sistema de emparejamiento, no habrían tenido necesidad de transferir esta función a los ácidos nucleicos, pues almacenarían la misma información con menos materiales y de forma más económica. Por ejemplo, un aminoácido promedio de una cadena proteica contiene unos 16 átomos. La misma información almacenada en tres subunidades de una cadena de ARN requiere unos 100 átomos. En el ADN, idéntica información se guarda en un complejo de dos cadenas y precisa 200 átomos. Este gasto extra de materiales para almacenar la misma información se justifica sólo si hubo un aumento paralelo de la eficiencia al pasar a sistemas más complejos. Hemos de suponer, pues, que el primitivo sistema hereditario basado en proteínas era menos perfecto que el actual.

¿Cómo podemos hacer un modelo de este sistema inicial, más tosco? Para inspirarnos, examinemos los mecanismos que existen hoy día. Cuando una célula fabrica proteínas, primero se transmite la información del ADN al ARN. Esta transferencia se efectúa con gran eficiencia mediante el acoplamiento de pares de bases. El mensaje, escrito todavía en el lenguaje de los ácidos nucleicos, tiene que ser traducido finalmente al de las proteínas, y, en las últimas décadas, buena parte de la investigación sobre biología molecular se ha centrado en el estudio del mecanismo de dicha traducción.

Se ha buscado un encaje molecular directo entre un aminoácido y un grupo de nucleótidos para establecer un vínculo lógico entre los dos lenguajes. Si existió algún sistema natural de emparejamiento, éste explicaría la base del código genético actual y daría una pista de los acontecimientos que sobrevinieron cuando el código se desarrolló por vez primera. Sin embargo, ese encaje o sistema de emparejamiento directo no ha sido descubierto, aunque se han propuesto diversas hipótesis interesantes. La realidad es que el acoplamiento ARN-proteína se realiza de una manera compleja.

Existe un grupo de enzimas cuyo nombre técnico es «aminoacil-ARNt sintetasas», y que nosotros llamaremos traductores específicos, que son muy especiales, pues, por así decirlo, tienen «dos manos». Cada uno de estos enzimas puede identificar y seleccionar un aminoácido entre veinte, y lo hace con una mano, mientras que

con la otra toma la molécula apropiada de ARN (ARN de transferencia) de la variedad existente en la célula. Acto seguido, el enzima reúne las dos moléculas. El conjunto de enzimas traductores tiene la responsabilidad de asegurar que las órdenes originalmente almacenadas en el ADN se ejecuten con toda exactitud durante la construcción de las proteínas.

Una sencilla analogía nos ayudará a aclarar este proceso. Imaginemos un grupo de traductores humanos entregados a la tarea de traducir del chino al español, en los que cada traductor sólo conoce un carácter chino y su equivalente español. Fijamos el mensaje a traducir en un bastidor, carácter a carácter, y, a medida que aparece cada uno de ellos, el traductor adecuado da un paso al frente y coloca la palabra española junto a él. Con el tiempo, el mensaje será traducido, a condición de que esté presente un traductor por cada carácter mostrado. El sistema biológico funciona de la misma manera, pero, por fortuna, el número de caracteres a traducir es muy limitado.

El mismo sistema podría servir para copiar proteínas directamente. Aquí también necesitaríamos un conjunto de traductores con dos manos, pero su trabajo sería ahora más fácil: el enzima sólo necesitaría identificar el aminoácido eslabonado en una cadena de proteínas y el mismo aminoácido en estado libre.

La molécula a copiar estaría sujeta a algún soporte adecuado (quizás una proteína o un polisacárido) para diferenciarla de las demás proteínas de la célula y tenerla localizada como molécula «a duplicar». En este bastidor la tendríamos montada de tal manera que los aminoácidos de su cadena irían quedando a la vista uno tras otro, en sucesión. Cada aminoácido expuesto sería identificado por un enzima traductor especializado. Este enzima seleccionaría el mismo aminoácido en la disolución y lo insertaría en el lugar correspondiente de la nueva cadena proteínica en construcción. Al término de esta tarea, el gen estaría duplicado y se habría fabricado otra molécula útil, pues cada molécula de la célula realizaría una función y sería responsable de su propia herencia.

Si este mecanismo precedió al desarrollo de los ácidos nucleicos y luego fue reemplazado, es de suponer que funcionaba peor que el sistema genético actual. A lo mejor era inexacto y lento, y quizá tuviera otros defectos, pero esta misma ineficiencia apunta una solución a ese rompecabezas que es el ritmo de la evolución.

Para situar el problema, convendrá que echemos una ojeada al paradigma vigente, compartido por muchos científicos, sobre el de-

sarrollo de la vida. Se supone que las proteínas, el ARN y el ADN se remontan a los primeros tiempos de la vida en este planeta, hace 3.500 millones de años. Los estromatolitos fósiles y otros restos de aquella remota época tienen formas similares a las de microorganismos contemporáneos. Por analogía, se supone también que los procesos internos de estas células primitivas eran similares a los de los procariotas actuales. Si fue así, la vida permaneció estancada durante más de 2.000 años, con muy poco progreso evolutivo, excepto quizás el desarrollo de la fotosíntesis productora de oxígeno.

Luego, en algún momento entre los -1.000 y los -1.500 millones de años, sobreviene una erupción de innovaciones. Surgen las células eucariotas a partir de las más sencillas, se desarrollan los mecanismos sexuales y cobran existencia los organismos pluricelulares.

Todas las grandes formas de vida que nos son familiares han aparecido en los últimos 500 millones de años. No existe acuerdo respecto a las causas de esta tardía serie de acontecimientos, pero se explican muchas cosas si suponemos que la función genética de los ácidos nucleicos se desarrolló avanzada ya la evolución, y que le precedió un sistema más tosco, basado en las proteínas. Diversos científicos han adelantado la idea de un origen retardado del ADN, entre ellos el biólogo John Keosian y el físico Freeman Dyson.

Si los ácidos nucleicos llegaron relativamente tarde, entonces los fósiles más primitivos representarían organismos que funcionaron con un sistema genético basado en proteínas. Este período entre -3.500 y -1.500 millones de años, cuando poco parece haber ocurrido en cuanto a las formas externas de los organismos, fue un intervalo de evolución gradual bajo el sistema genético de las proteínas, que culminó con el traspaso de esta función al ARN primero y al ADN después. Con el ADN como material hereditario definitivo, la evolución pudo ya proceder a ritmo acelerado. El resto de la historia es conocido y conduce a nuestra propia aparición.

¿Cuáles fueron las principales innovaciones bioquímicas durante el reinado de las proteínas? Es más difícil hablar de esos acontecimientos que de la ascensión y caída de los ministros de los reinos que florecieron antes del advenimiento de la escritura. La lógica será nuestra principal guía.

Durante el largo y lento período de evolución proteínica, el número de aminoácidos empleados puede haber crecido desde un puñado inicial hasta los veinte que conocemos hoy día. El tamaño de los de la serie actual va desde los diez a los veintiocho átomos.

Los dos más pequeños son los que predominan en los experimentos Miller-Urey, y posiblemente ya formaban parte de la dotación inicial. A los mayores no se ha podido acceder ni siquiera con las simulaciones prebióticas más elaboradas, y es muy probable que aparecieran a raíz de alguna innovación metabólica. Algunos autores han sugerido que bastaría un conjunto de seis aminoácidos para aproximarse a las diversas configuraciones que observamos en las proteínas actuales, mientras que otros reducen el número inicial a cuatro. Sea cual fuere el punto de partida, cada nueva aparición de un aminoácido debió de ser una especie de hito en la lucha evolutiva de la vida primitiva.

El tamaño y la complicación de los enzimas aumentaron, sin duda alguna, a lo largo de esos 2.000 millones de años de evolución. En la actualidad, el número de aminoácidos por enzima oscila entre unos 100 y más de 1.000. Estos tamaños mamotrétricos proporcionan una perfección exquisita de propiedades catalíticas y reguladoras. Pero ¿cuál fue el punto de partida de estas propiedades? No existe una respuesta fácil.

Los aminoácidos aislados, desconectados unos de otros, presentan una modesta capacidad catalizadora. Esta propiedad no es exclusiva de los aminoácidos, sino que la comparten con otros compuestos químicos, orgánicos e inorgánicos (una agradable ocupación para un químico es la de diseñar moléculas que exhiban propiedades como las de los enzimas).

Volviendo a los aminoácidos, hablaremos de capacidad enzimática cuando el poder catalítico de cierto número de ellos enlazados supere con mucho el de una mezcla de las mismas unidades sin unir. Esa capacidad aparece cuando la cadena de aminoácidos alcanza el tamaño necesario para plegarse y adoptar una forma tridimensional específica, perfectamente definida, lo cual requiere el acoplamiento de varias docenas de aminoácidos. Así pues, la era de la vida terrestre basada en las proteínas fue una época en la que los enzimas aumentaron desde ese tamaño mínimo hasta dimensiones parecidas a las que observamos hoy.

LA APARICIÓN DEL ARN Y DEL ADN

La evolución no anticipa necesidades. Resulta difícil creer que los ácidos nucleicos se desarrollaron a la espera de que asumieran la función genética en alguna fecha futura. Probablemente se utili-

zaron con otros fines y, poco a poco, pasaron a desempeñar su función actual en la vida. La Tierra, en los primeros tiempos, tenía celosamente encerrado el fosfato, en forma insoluble, en el seno de las rocas volcánicas; sólo se pudo acceder a él a medida que las rocas se erosionaron. Mientras el fosfato fue raro, probablemente se reservaba para almacenar energía —función que conserva en la actualidad—, aunque sin duda debía de estar contenido en moléculas más sencillas que el ATP.

Paso a paso, a medida que aumentó la disponibilidad de fosfato, se le asignaron otras funciones. Si examinamos una célula bacteriana actual, reparamos en la presencia de unas sustancias, los ácidos teicoicos, cuya estructura se asemeja a la de los ácidos nucleicos. Presentan un eje de azúcar y fosfato alternados, pero en lugar de bases poseen aminoácidos u otros azúcares. Los ácidos teicoicos se localizan en las membranas y las paredes celulares de ciertas bacterias, y su presencia atestigua que tienen propiedades útiles como materiales de construcción, y quizá desempeñen también otras funciones. En el curso de la evolución pueden haberse desarrollado muchas variaciones sobre el tema de los ácidos teicoicos, y los primeros nucleótidos activos se formaron durante alguno de estos procesos.

La unión de los nucleótidos para formar el primer ARN ha sido un quebradero de cabeza para los químicos prebióticos. Sin embargo, este paso no tiene por qué ser difícil cuando se dispone del enzima adecuado. Hemos visto que la replicasa Q β puede montar una molécula de ARN por su cuenta si se le proporcionan las subunidades adecuadas (pág. 148). El primer ácido nucleico quizá fue montado por un enzima menos especializado, con una capacidad general para unir fosfatos y azúcares.

Una vez formado, este nuevo tipo de sustancias enseguida demostró, sin duda, su valía como material estructural. En realidad, hoy día se emplean aún en los ribosomas con tal fin: se destina más ácido nucleico a la construcción de ribosomas que a todas sus demás aplicaciones. Esta utilidad le viene de la misma propiedad que hace a los ácidos nucleicos tan valiosos para la herencia: la formación de pares de bases. Cuando una cadena de ácido nucleico no tiene pareja adecuada con la que establecer una doble hélice, se pliega sobre sí misma y adopta una forma que le permitirá organizar un gran número de pares de bases internos. La configuración exacta que adopte la molécula depende del orden preciso de las bases en su seno. Esta propiedad puede haber hecho del ARN un

soporte idóneo para los procesos de síntesis de proteínas dirigidos por proteínas. Se adaptó a esta función tras su descubrimiento, desplazando, es de suponer, a alguna sustancia afín aunque menos adecuada.

Tras ser «descubierto», el ARN fue evolucionado. Para la célula era ventajoso desarrollar mejores secuencias de bases, que proporcionaran configuraciones más útiles. Al principio, los enzimas podrían preparar secuencias por su cuenta, siguiendo un proceso irregular. Pero al cabo de un tiempo, «se descubrió» que las moléculas de ARN eran capaces de copiarse a sí mismas. Durante el proceso de copia se producían errores y, si eran favorables, se perpetuaban por selección natural. Este desarrollo condujo, sin duda, a una eclosión de innovaciones en el aparato de sintetizar proteínas, y el resultado fue un ribosoma mucho más complejo, compuesto en gran medida por ARN.

Una mejora que posiblemente surgió con el tiempo fue la asociación de unidades especializadas de ARN de pequeño tamaño con aminoácidos específicos. Estos pequeños ARN facilitaban la inserción de los aminoácidos en la proteína en construcción. En esa situación, el enzima traductor identificaba el aminoácido libre, el aminoácido de la cadena a copiar y el pequeño ARN auxiliar (el antecesor del ARN de transferencia). Como ayuda complementaria, se inventó un ARN más largo (el antecesor del ARN mensajero actual) que alineaba, por emparejamiento de bases, las diversas moléculas del ARN auxiliar en el orden que mejor convenía a la proteína a copiar. Con el tiempo debió surgir un ARN largo de este tipo para cada proteína celular útil. Pero, con esta innovación, la información presente en cada proteína también se almacenaba en el ARN, desarrollándose así dos sistemas genéticos paralelos, capaces de evolucionar independientemente.

El sistema genético del ARN demostró tener muchas ventajas. Por ejemplo, ya no era necesario que la célula conservara en todo momento al menos una copia de cada uno de los enzimas para evitar que se perdiera la información sobre el mismo, y, en consecuencia, la concentración del enzima podía aumentar rápidamente o caer a cero según lo requiriesen las condiciones ambientales. A la larga, a medida que el sistema del ARN demostraba su eficacia, acabó por descartarse el para entonces superfluo sistema genético de las proteínas. Éstas se vieron con las manos libres para realizar las funciones que mejor sabían hacer.

En esta etapa de la evolución, la información genética de célu-

las estaba almacenada en un conjunto de moléculas de ARN, cada una de las cuales correspondía a una proteína. Estas moléculas servirían también para lo que sirven las moléculas de ARN mensajero hoy: intervenían directamente en la construcción de proteínas en los ribosomas. Por supuesto, ahora estas dos funciones están separadas, con el ADN como depositario remoto de las instrucciones y el ARN actuando sólo de intermediario transitorio. En algún momento se creó el ADN, por introducción de modificaciones secundarias en el ARN, y se le transfirió la información hereditaria. Dicha transferencia de información del ARN al ADN siguió la dirección inversa a la que hoy es habitual en los seres vivos, pero todavía tiene lugar actualmente en el ciclo vital de ciertos virus y, de vez en cuando, en los organismos superiores.

Parece probable que esta última innovación genética aconteciera en el momento de la evolución en que aparecieron los eucariotas, hace quizá de 1.200 a 1.400 millones de años. Si fue así, entonces quedaría resuelto otro rompecabezas evolutivo. Hemos observado que los eucariotas tienen fragmentado el ADN codificador de la mayoría de los genes: una serie de bases portadoras de información para un segmento de una proteína da paso a una «cuña comercial» o intrón, reaparece después la secuencia codificadora, más adelante se pierde de nuevo, y así sucesivamente. Pueden darse muchas interrupciones de este tipo antes de llegar al final del mensaje genético. Los procariotas, en cambio, no presentan por lo general estas interrupciones extrañas en sus genes. Los científicos que creen que el ADN ha existido desde los primeros momentos de la vida no saben explicar por qué se insertaron intrones en los mensajes continuos de los procariotas cuando éstos evolucionaron a eucariotas. El dilema desaparece si aceptamos que la selección de estas dos formas distintas de organización del ADN tuvo lugar al poco tiempo de aparecer por vez primera esta molécula, y que la elección fue uno de los pasos críticos que llevó a los eucariotas y los procariotas por caminos separados. Así fue como, después de eones de innovación y cambio, nuestro sistema bioquímico alcanzó su forma final.

EL DOGMA CENTRAL

Ya hemos especulado bastante, de momento. Es hora de que vuelva Escéptico. Al punto empieza a preguntar sobre la contradic-

ción entre nuestro esquema y el llamado dogma central de la genética molecular. ¿Habría que descartar tan reverenciada teoría así, a la ligera?

La sola audición de estas inquietantes palabras bastaría para intimidar a cualquier especulador casual que se atreviera a ponerlos en duda. Mi diccionario define «dogma» como «doctrina, creencia o conjunto de doctrinas teológicas que cuentan con una adhesión total». Así pues, es de suponer que, en su acepción científica, este término denote una teoría con el más formidable de los respaldos. Muchos textos de biología producen esa impresión; por ejemplo, en la introducción de Richard Leakey a una versión ilustrada de *El origen de las especies* se afirma: «La información genética fluye en una única dirección: del ADN hacia afuera. Tal afirmación recibe el nombre de dogma central de la genética molecular. Se ha elaborado a partir de una vasta colección de datos experimentales y no parece probable que pueda ser desafiado nunca seriamente.» El propio dogma fue enunciado en 1958 por Francis Crick, y éstas fueron sus palabras textuales: «La transferencia de información de ácido nucleico a ácido nucleico o de ácido nucleico a proteína es posible, pero la transferencia de información de proteína a proteína o de proteína a ácido nucleico es improbable.»

Por lo tanto, el flujo de información del ARN y ADN apuntado anteriormente no está en modo alguno prohibido, pero la otra transferencia que hemos considerado sí parece estar excluida. Pero ¿cómo llegó Crick a esa conclusión? En un artículo posterior señalaba que era simplemente una hipótesis negativa, pues no se había descubierto el más mínimo rastro de un mecanismo de transferencia de información de proteínas a ácidos nucleicos en los organismos actuales. Pero esto no significa que tal mecanismo no pudiera haber existido en el pasado. Crick dejaba bien claro en ese artículo que el dogma «sólo iba destinado a los organismos actuales y no a acontecimientos de un pasado remoto, como el origen de la vida o el origen del código genético».

Para hacerme una composición de lugar de las circunstancias que le llevaron a formular su teoría y a ponerle un nombre tan imponente, decidí entrevistarme con el propio Crick. El encuentro ocurrió a última hora de una tarde de mayo en la que él asistió a una conferencia sobre el sistema nervioso en Cold Spring Harbor, Nueva York, no lejos de mi casa, y Crick estuvo encantado de recordar el pasado del «dogma».

Crick es un hombre que llama la atención, alto, de cabellos gri-

ses, sosegado, acogedor y, por encima de todo, divertido. Recordó que, después de haber publicado la teoría, un amigo le comentó que un dogma es algo que no se puede poner en duda. «No sabía qué significaba eso», me dijo Crick. «Creí que significaba hipótesis, algo arbitrario que se afirma sin ninguna razón especialmente buena. De haberlo sabido, lo hubiera llamado “hipótesis central”, y así no se habría armado todo este alboroto.»

Mira por dónde, el supuesto dogma resultó ser simplemente una idea para organizar el trabajo, con un nombre engañoso. En cuanto al origen de la vida, Crick reconoció que la hipótesis de «los ácidos nucleicos primero» planteaba algunas dificultades, y que quizá fuera oportuno reconsiderar la posible primacía de las proteínas. Se prestó a considerar de nuevo la idea, quizá con Leslie Orgel.

Tras esta conversación con Crick, no pude resistirme a comprobar la reacción de Leslie Orgel al especulativo esquema basado en las proteínas que he perfilado antes. Éste me escuchó pacientemente mientras desayunábamos juntos, unas semanas después. Cuando terminé de hablar, me espetó: «Los enzimas pueden hacer cualquier cosa.»

Esa misma frase la había oído por vez primera en los años cincuenta cuando era estudiante. El curso anterior habíamos estudiado, en la asignatura de química orgánica, que unas reacciones químicas funcionan y otras no, según un esquema empírico descubierto por los químicos al precio de muchos y muy duros trabajos. Pero al estudiar bioquímica vimos que en los sistemas vivos se daban las reacciones más inverosímiles. Únicamente se necesitaba escribir el nombre de un enzima sobre la reacción química para dar validez al proceso, y los por entonces misteriosos poderes de éstos se ocupaban de los detalles.

Orgel había querido darme a entender con su frase que, en principio, los enzimas podían realizar, sin duda alguna, el proceso de autorreplicación que yo le había descrito. Sin embargo, eso no probaba que tal sistema hubiera existido jamás y fuera un factor en el desarrollo de la vida. Comentó: «Hacer modelos es muy fácil, pero yo no me siento muy predispuesto a efectuar especulaciones que no lleven a buenos experimentos.»

Por supuesto, ésa es la cuestión. No bastan las conjeturas; éstas han de tener cierta capacidad de predicción y conducir a experimentos cruciales. Pero ¿cómo empezar a demostrar la existencia o inexistencia de un sistema de estas características?

Una línea de aproximación sería construir un sistema de este

tipo en el laboratorio, pero la tecnología actual no está para semejante desafío. Aún no sabemos lo suficiente sobre los enzimas como para diseñar siquiera uno que realice una función nueva de una manera eficaz, así que sería mucho más difícil construir un sistema de enzimas que interaccionaran y hacerlo funcionar.

Esta proeza será posible seguramente algún día, pero su consecución no probaría que dicho sistema, por más eficiente que fuera en su funcionamiento, hubiera desempeñado, necesariamente, un papel en el desarrollo de la vida en la Tierra. Las mayores posibilidades de zanjar esta cuestión histórica nos vienen del examen de los sistemas vivos que operan hoy día. Tenemos la suerte de vivir en una época en la que se están realizando progresos extraordinarios en lo que atañe a este funcionamiento, y es de prever que la intensa investigación de la base molecular de la vida continúe y se amplíe enormemente en el futuro. De esta investigación aprenderemos muchas cosas sobre la historia de la vida en nuestro planeta.

En los años setenta, por ejemplo, se desarrollaron técnicas muy perfeccionadas para determinar la secuencia de bases en un segmento de ADN. Mientras que los investigadores de 1970 luchaban por determinar secuencias de 20 bases, doce años después se conocía ya por ejemplo la disposición de las 48.502 bases del ADN de un bacteriófago llamado lambda, y podemos augurar que dentro de otra docena de años se habrá descifrado la mayor parte —si no la totalidad— de la secuencia de los 4 millones de bases del filamento cromosómico de la bacteria *E. coli*, y también se conocerán muchas secuencias importantes de organismos superiores, incluido el ser humano.

En la actualidad se han comparado detalladamente las secuencias de los aminoácidos de diversas proteínas y de las bases del ARN de distintos organismos, lo que ha servido para definir grados de parentesco y construir árboles genealógicos evolutivos. En las secuencias del ADN hay mucha más información de este tipo, de modo que con el tiempo tendremos una imagen clara del orden en que se diferenciaron grupos fundamentales como las arqueobacterias, las bacterias corrientes y los eucariotas.

El significado último de la información presente en las secuencias del ADN no se nos hará patente de inmediato, pero a la larga cederá frente a la paciente investigación. Conoceremos la dotación genética completa de algunas bacterias, la composición de cada proteína, de cada ARN y de cuantas otras moléculas puedan fabricar, y cómo esas moléculas se estructuran en tres dimensiones.

Nuestro conocimiento de cómo funciona un organismo puede permitimos inferir detalles de su desarrollo evolutivo. Así, por ejemplo, he especulado antes con la posibilidad de que el actual ribosoma bacteriano se hubiera originado a partir de una versión primitiva que habría funcionado con un sistema hereditario basado en proteínas, y quizá puedan detectarse huellas de la estructura primitiva en la actual, del mismo modo que se pueden identificar los elementos más antiguos de una catedral a partir de un estudio de la estructura presente. Análogamente, los enzimas «traductores» que hemos considerado pueden presentar vestigios de una capacidad anterior para reconocer aminoácidos en las proteínas. También se pueden descubrir testimonios del pasado en las propias secuencias del ADN. Por lo visto, el ADN de los eucariotas es portador de diversos «genes muertos», es decir, secuencias de bases que parecen genes funcionales que han sufrido algún cambio adverso por mutación. Si bien ya no sirven para producir proteínas, tales secuencias son arrastradas con la herencia del organismo como si lo fueran, y sirven de testimonio de antiguos accidentes. La búsqueda de todas estas reliquias puede considerarse como una especie de «arqueología molecular».

Mucho más espectacular y útil sería el descubrimiento de reliquias vivas, es decir, de supervivientes del sistema genético original basado en las proteínas que viviesen y funcionasen en nuestro planeta actual. Los microbiólogos niegan a menudo la posibilidad de un descubrimiento de este tipo, alegando que esas criaturas, de existir, ya estarían descubiertas. Pero el reino microbiano de la Tierra sólo ha sido parcialmente explorado. Los microbiólogos suelen emplear una y otra vez el mismo conjunto de medios de cultivo, porque éstos permiten que las cepas especialmente interesantes se multipliquen con facilidad. Sin embargo, los organismos verdaderamente exóticos a lo mejor no crecen bien en los medios de costumbre y escapan a la detección, aunque se den en los ambientes más normales. Otros pueden no tener una distribución tan común y estar escondidos en nichos raros de nuestro planeta, donde su presencia no ha sido siquiera sospechada.

Los valles de la Antártida, por ejemplo, fríos, secos, barridos por el viento, otrora fueron tenidos por absolutamente vacíos de vida. Pero, si bien la superficie expuesta a la intemperie de estas regiones sí que realmente estaba desprovista de vida, se descubrió todo un ecosistema en miniatura de bacterias y algas bastante convencionales instaladas cómodamente en ciertas rocas porosas.

Los hábitats fuera de lo corriente también podrían albergar organismos atípicos. Un proyecto de cinco años patrocinado por el gobierno de Japón e iniciado en 1984 tiene por objeto examinar ambientes estrafalarios en busca de «supermicrobios» con propiedades nuevas y quizás útiles. La revista *Nature* comentaba: «Hay multitud de razones para creer que existen grandes cantidades de organismos que viven en medios extremos y aguardan todavía a ser descubiertos.» Veamos algunos descubrimientos recientes que justifican esta suposición.

Las bacterias metanógenas, como hemos visto (pág. 83), son microbios que obtienen energía mediante combinación de materia orgánica con hidrógeno en vez de con oxígeno. Viven en hábitats como el cieno del fondo de la bahía de San Francisco. Hace veinte años, antes de su descubrimiento, un especulativo libro de ciencia concebía la existencia de esos seres, pero los situaba en un planeta lejano, perdido en la galaxia.

Recientemente hemos tenido otras sorpresas. Los biólogos han estado creyendo durante mucho tiempo que los seres vivos no podían sobrevivir si se les mantenía a temperaturas por encima de 100° C. Sin embargo, como señalábamos antes, se han identificado organismos en las chimeneas termales del fondo del mar que crecen a temperaturas superiores a los 250° C. Los datos han sido puestos en duda y se ha levantado la polémica acerca de la realidad de estos seres; pero, si existen, deben de emplear mecanismos muy singulares para mantener la estabilidad de sus componentes bioquímicos fundamentales. Sea cual fuere el resultado, no vayamos diciendo por ahí que conocemos todo lo que puede estar vivo en la Tierra.

En algún lugar del planeta, quizás en enclaves desprovistos de fosfato, a lo mejor se encuentran todavía supervivientes de la era de la vida proteínica, a la espera sólo de exploración y medios de cultivo adecuados para su detección. Joshua Lederberg ha sugerido que estos organismos han de ser cultivados en presencia de fósforo radiactivo. Los seres convencionales incorporarían el fósforo en los ácidos nucleicos y perecerían al desintegrarse éste, mientras que los basados en proteínas se salvarían.

De hecho, es posible que las primeras formas de vida proteínica ya hayan sido descubiertas. Los científicos han intentado durante décadas purificar una partícula de tamaño único responsable de una enfermedad infecciosa llamada «prurito lumbar», que provoca lesiones cerebrales y la muerte en cabras y ovejas. El desarrollo de

la enfermedad requiere años, y por esta razón el aislamiento y la identificación de dicha partícula ha progresado lentamente.

El agente infeccioso del prurito lumbar parece hecho sólo de proteína, sin ácido nucleico. Sin embargo, existen diferentes cepas del mismo, y, al parecer, posee un gen capaz de sufrir mutaciones. Así pues, ¿cómo transmite su herencia?

Quizás haya un ácido nucleico astutamente oculto en el interior de esta partícula infecciosa. Y, si no fuera así, quedan todavía algunas otras hipótesis «conservadoras» para explicar su acción. Pero una de las alternativas es que tenga un genoma de proteínas que codifique proteínas o incorpore información al ácido nucleico de la célula hospedadora mediante un mecanismo que viole el «dogma central». Un descubrimiento de este tipo sería revolucionario, pues no sólo confirmaría la posibilidad de un sistema hereditario basado en proteínas, sino que demostraría que las células normales conservan la capacidad de interaccionar con un sistema de este tipo.

Un descubrimiento de tal magnitud exige muchísimas comprobaciones, de modo que, de momento, no hay necesidad de pasar a conclusiones definitivas. Pero si se confirmara este descubrimiento de vida actual basada en proteínas se respaldaría fuertemente la idea de que, en el curso de la evolución, un sistema de esta índole precedió al basado en los ácidos nucleicos.

Supongamos por un instante que la hipótesis es cierta. ¿Habríamos dado cumplida respuesta a la cuestión del origen de la vida? Por desgracia, no. La resolución de la paradoja del huevo o la gallina proporcionaría un esquema general del desarrollo de la vida que nos remontaría a los primeros tiempos de este planeta, pero no a los orígenes mismos. Le habríamos devuelto a la cuestión del origen de la vida la forma que adoptó originalmente cuando Darwin y Troland proponían que ésta comenzó con la aparición del primer enzima o proteína funcional, nada más. No sabríamos qué precedió a ese replicador proteico.

Claro está que el esquema especulativo de este capítulo hace desaparecer varios quebraderos de cabeza. No hay necesidad de pensar en cómo se fabricaron los nucleótidos en una sopa prebiótica, pues el desarrollo del código genético y la relación de los ácidos nucleicos con las proteínas quedan pospuestos a una etapa más tardía de la evolución. Como en los experimentos Miller-Urey se producen aminoácidos, tenemos muchísimas menos dificultades a la hora de considerar la disponibilidad de elementos de construcción para el primer replicador. No obstante, subsiste una cuestión

que quema: ¿Cómo se unieron las primeras subunidades para formar el primer sistema autorreproductor?

Una vez más, el tan a menudo denostado concepto de la generación espontánea reaparece para solventar el problema. Y una vez más, no lo conseguirá.

Imaginemos la variante más sencilla del sistema descrito en este capítulo. Necesitamos una colección de pequeños enzimas, que quizá podríamos obtener con sólo cuatro tipos distintos de aminoácidos. Unos enzimas tendrían que controlar la incorporación de los aminoácidos a la proteína en construcción, otros podrían servir como bastidor para la síntesis de proteínas, otros ayudarían a fabricar aminoácidos y otros servirían para obtener energía. Posiblemente se necesitaría un conjunto de por lo menos diez enzimas distintos.

¿Cuán complicados habrían de ser tales enzimas? Cuesta imaginar cómo se podrían obtener la especificidad y la velocidad de reacción imprescindibles con menos de unos 25 aminoácidos por enzima. Por consiguiente, precisaríamos 250 aminoácidos para la construcción de nuestro sistema autorreproductor. Si tuviéramos que esperar que se construyera este conjunto por azar a partir de una mezcla que contuviera sólo las cuatro clases de aminoácidos supuestas, la probabilidad de conseguirlo en un solo ensayo sería de 1 en 10^{150} . Por supuesto, diversas condiciones favorables podrían facilitar la aparición de un replicador viable, pero, por otro lado, ninguna mezcla con posibilidades de existir en la Tierra primitiva contendría sólo las subunidades deseadas. Allí habría aminoácidos D y L, aminoácidos abiológicos y otras muchas sustancias que no serían aminoácidos, pero que, sin embargo, podrían colarse en una cadena proteica y enmarañarla. Sea cual sea el cálculo, la probabilidad en contra de la generación espontánea de un replicador proteínico, aunque mucho más favorable que la que tiene en contra el replicador de ácido nucleico, todavía está muy por encima del número de ensayos realizable en la Tierra primitiva.

En un capítulo anterior considerábamos otra alternativa. Sidney Fox y otros sostienen que los aminoácidos no se combinan al azar, sino según ciertas leyes inherentes a su estructura. La mayoría de los químicos convendrán en ello, aunque no en la suposición de que esas leyes favorecerían la rápida formación de un sistema autorreproductor capaz de evolucionar. Una circunstancia milagrosa como ésta tiene que ser demostrada con experimentos rigurosos, no basta con proclamarla.

Los esfuerzos realizados en este capítulo por razonar retrospectivamente sobre el origen de la vida desde los conocimientos de la bioquímica moderna, si bien han generado algunas especulaciones estimulantes no nos han proporcionado información sobre la historia del origen mismo. Que esto no es ninguna sorpresa lo entenderemos mejor con una analogía.

Supóngase que deseamos hacer una idea de las aventuras y dificultades de los primeros habitantes humanos de Norteamérica —es decir, no de los colonos europeos, sino de las primeras tribus nómadas que llegaron en tiempos prehistóricos—. De poco nos serviría un estudio intensivo de la constitución de Estados Unidos, ni siquiera de los estatutos de las colonias que precedieron la unión federal. Una aproximación más acertada sería animar a voluntarios a establecerse en zonas deshabitadas equivalentes, sin el auxilio de los útiles modernos; mediante este procedimiento nos haríamos una idea de los obstáculos naturales para la supervivencia y los problemas que se plantean al organizar una pequeña comunidad.

Lo más probable es que no subsistan vestigios históricos de las primeras etapas químicas del origen de la vida en la Tierra. Sin embargo, mediante simulación en el laboratorio podemos explorar los principios generales de la autoorganización química. Una vez los tengamos entendidos, podremos saber qué variantes del proceso es más probable que tomaran la dirección de nuestra particular bioquímica. Sidney Fox ha calificado este enfoque de «construccionista». El enfoque alternativo, es decir, el estudio de los organismos existentes, lo califica de «reduccionista». Para Fox, intentar aprehender los orígenes por la vía reduccionista es como intentar averiguar cómo se hace un pastel deshaciendo uno.

Por supuesto, muchos científicos comparten esta filosofía, y en las investigaciones sobre el origen de la vida no han sido en absoluto escasos los experimentos con sistemas prebióticos. Pero la inmensa mayoría de tales experimentos han tenido por objeto conseguir síntesis concretas, y no la búsqueda del «principio perdido» que gobernaría la evolución química.

Los creacionistas han sido muy astutos al percatarse de los defectos de este planteamiento, y han optado por una solución religiosa del problema. Pero las alternativas científicas distan mucho de estar agotadas. Con un renovado espíritu de investigación, crítico y libre de prejuicios, todavía podremos desvelar el misterio de los primeros acontecimientos en el proceso de organización de la vida. Examinaremos estas alternativas en el próximo capítulo.

XIII. EL CAMINO HACIA LA RESPUESTA

En algún momento de la historia de este planeta aparecieron sistemas biológicos capaces de producir descendientes y evolucionar. Los fósiles de organismos unicelulares que existieron hace 3.500 millones de años dan fe de ese acontecimiento, que sin embargo pudo haberse producido mucho antes. Los primeros sistemas autorreproductores no tuvieron por qué haber estado organizados en células, sino que pudieron haberse estructurado de maneras más sencillas. Esos seres, aunque menos complejos que una bacteria moderna, debían de estar mucho más organizados que las simples mezclas químicas de las que cabe suponer que surgieron. Ignoramos cómo se salvó tal abismo de organización, y éste sigue siendo el problema más crucial por resolver del origen de la vida.

Una tradición presente en la mitología religiosa sostiene que el abismo nunca fue salvado, que la organización existente en la vida actual le vino de arriba, no de abajo, merced a un acto de un ser sobrenatural aún más organizado. Como vimos antes, el punto de vista diametralmente opuesto, que la vida se autoorganizó a partir de un caos primigenio, también está representado en la mitología (esta postura se refleja en el materialismo dialéctico, que defiende que la continuación de este proceso ha llevado a sociedades avanzadas de un determinado tipo). El primer punto de vista mencionado sobre el origen de la vida no resulta accesible al método científico, pero el segundo sí, y puede ser verificado mediante experimentación.

De hecho, son muchos los experimentos realizados. En capítulos anteriores los hemos descrito, y también hemos examinado los defectos que los hacen insatisfactorios como respuesta al problema de la autoorganización. En estos casos, el experimentador tiene un

objetivo preconcebido: desea demostrar la síntesis eficiente de aminoácidos, de un polinucleótido o de cualquier otra entidad bioquímica importante para la vida actual, en las condiciones tenidas por plausibles para la Tierra primitiva. Se seleccionan los ingredientes y las condiciones a fin de maximizar la probabilidad del producto deseado. Los resultados no relacionados con nuestra bioquímica actual se consideran faltos de interés —por ejemplo, la formación de petróleo en el primer experimento Miller-Urey—, y no se profundiza en ellos; en vez de eso, se prueba con un conjunto de condiciones distinto para conseguir el resultado buscado.

Alcanzado el éxito en un paso determinado, se da por resuelta esa parte del problema y se pasa a prestar atención a otros asuntos. Por ejemplo, para sustentar la teoría del gen desnudo se necesita una síntesis prebiótica completa de un ácido nucleico autorreproductor. En esta línea, los logros conseguidos son la síntesis de adenina y la conversión de un ácido nucleico de una sola hebra en otro de dos sin el concurso de enzimas. Toda nueva mejora, aunque no sea esencial, es siempre bien recibida por los partidarios de esta teoría. Y, sin embargo, todavía están pendientes de solución la síntesis eficiente de nucleósidos y la ulterior replicación de un ácido nucleico de doble filamento.

Muchos partidarios de las teorías prebióticas consideran esas etapas no resueltas simplemente como tareas fastidiosas a las que no queda más remedio que atender, algo así como los cuartos desordenados de una casa que está siendo renovada. Por ejemplo, Allen Schwartz, de la Universidad de Nijmegen (Holanda), me decía que tenía «casi una especie de fe» en que los pasos que faltan serán demostrados. Otros denotan incluso menos paciencia; están dispuestos a *aceptar* que, con el tiempo, se hará el trabajo que sea necesario. Bien claro lo expresaba una frase del informe de un grupo asesor de la NASA: «Muchas personas están convencidas de que la producción eficiente de nucleósidos es algo que se conseguirá más pronto o más tarde, y que ese tema ya no está realmente en la primera línea de la investigación.»

Por desgracia, este planteamiento no es ciencia, sino más bien una búsqueda de pruebas en respaldo de una mitología establecida. Toda aproximación científica al gen desnudo o a cualquier otra teoría detallada sobre el origen de la vida debe incorporar un esfuerzo manifiesto de refutación. Deberían efectuarse experimentos para realizar pasos fundamentales, tales como la síntesis de nucleósidos, y si estos experimentos fracasan habría que considerar la teo-

ría como incorrecta. Por supuesto, una deducción negativa de esta naturaleza nunca podría ser plenamente conclusiva, y un contraejemplo de rescate podría salvar la situación en cualquier momento. Por ejemplo, todavía se puede descubrir una receta que convierta directamente compuestos químicos simples en una bacteria, rebatiendo así a Louis Pasteur y poniendo a flote la generación espontánea; pero, a falta de este experimento, podemos relegar, al menos provisionalmente, la generación espontánea (y quizá, cuando se haya trabajado más también la teoría del gen desnudo) al cubo de la basura.

En las teorías montadas sobre demostraciones sin esfuerzo alguno de refutación, el experimentador controla los acontecimientos, como el doctor Midas controlaba al mono Charlie en la máquina de escribir. No había forma de que Charlie pudiera mecanografiar ningún otro mensaje. En la mayoría de las simulaciones prebióticas, no hay manera de llegar a ninguna otra conclusión sobre el origen de la vida.

La investigación química sobre el origen de la vida tiene ante sí un campo casi inexplorado: los experimentos prebióticos indirectos. Algunos científicos han anticipado diversos aspectos de una investigación de este tipo, y han propuesto experimentos que simulen con precisión la complejidad de un ambiente de la Tierra primitiva. En 1963, en el segundo congreso internacional sobre el origen de la vida que tuvo lugar en Florida, el físico H. H. Pattee hacía la siguiente observación: «A pesar de todas las inevitables imprecisiones de detalle, una costa estéril simulada, con olas, mareas, arena, lluvia y luz solar intermitente es un ambiente terrícola primitivo más verídico que las reacciones perfectamente definidas, aunque super-simplificadas, estudiadas hasta la fecha.» Y el químico David Usher, de Cornell, ha proyectado una «máquina con noche y día», aunque todavía no la ha construido.

La ventaja de esos complejos ingenios no radica sólo en que simularían un ambiente auténtico, sino en que estarían menos expuestos a los prejuicios del experimentador. En el caso ideal, la investigación comenzaría con la introducción de una mezcla realista y simple de productos químicos en la máquina. Pondríamos el aparato en marcha y lo dejaríamos funcionar indefinidamente sin más intromisiones, excepto quizá la extracción de una pequeña muestra de vez en cuando para su análisis.

¿Qué resultados constituirían un fracaso? La no aparición de un compuesto químico determinado, por muy importante que pueda

ser para la vida actual, no sería significativa. El experimento concluiría cuando la entrada de más energía y el paso del tiempo ya no produjeran cambios perceptibles en la mezcla química del interior de la máquina. Esto podría ocurrir prácticamente al comienzo mismo, como en el caso de la ley del sol que ilumina una chatarería. También podría suceder que todo el aparato quedara impregnado de un horrible alquitrán insoluble, que ya no evolucionara hacia la formación de otros productos químicos.

Quizá no debiéramos pensar en una gran máquina con noche y día para los primeros experimentos, pues éstos se podrían llevar a cabo a una escala más pequeña. Lo más importante sería que el científico no se entrometiera hasta que se hubiera llegado a un punto final de equilibrio químico.

Esos primeros experimentos acabarían las más de las veces en fracasos que pondrían a prueba la paciencia de los investigadores. Pero, quizá un día, cierta mezcla no se convertiría en alquitrán o no se detendría en él, y se establecerían ciclos de reacciones químicas que persistirían en el tiempo y lentamente irían adquiriendo complejidad. Aunque a la postre se amortiguaran, habríamos aprendido de la experiencia y podríamos hacer un nuevo intento revisado y corregido.

Siguiendo por este camino, quizás obtuviéramos una mezcla y unas condiciones adecuadas que desencadenarían un proceso sin fin. El sistema químico se organizaría poco a poco y seguiría evolucionando. Al principio, quizá no contendría productos químicos importantes para nuestra bioquímica. Estas sustancias podrían aparecer más adelante, o nunca, pero de cualquier forma el resultado sería «vital». Mediante el estudio intensivo de un sistema de estas características, aprenderíamos cómo se puede organizar la materia, aunque la dirección adoptada fuera distinta de la que se tomó en nuestro planeta. Una vez aprehendido el principio, se podría buscar con una mayor probabilidad de éxito la variación particular que condujo a nuestra propia bioquímica.

EVOLUCIÓN QUÍMICA EN EL SISTEMA SOLAR

A causa de las limitaciones humanas, experimentos como el reseñado estarían considerablemente limitados en el espacio y en el tiempo, y podrían estar sujetos a prejuicios experimentales inconscientes. Sin embargo, existen lugares donde se pueden realizar in-

vestigaciones sobre evolución química efectuada a gran escala sin prejuicios y durante miles de millones de años. Los resultados están ahí; sólo tenemos que recogerlos y analizarlos, y las respuestas pueden ser asombrosas. Por desgracia, el proceso de recolección será caro, pues esos lugares son los restantes astros de nuestro Sistema Solar.

Estos astros ofrecen una selección deslumbrante de circunstancias químicas variadas. Las temperaturas pueden ser más tórridas que las de nuestras chimeneas marinas más ardientes, o más gélidas que las de una ventisca en la Antártida. Podemos explorar fases sólidas o líquidas, y atmósferas densas, tenues o inexistentes. ¿Qué deseamos: un ambiente oxidante, neutro o reductor? Sólo tenemos que elegir.

De momento, la humanidad sólo ha dispuesto de medios para visitar personalmente otro mundo: la Luna. Era el más a mano y el menos caro, pero también uno de los menos interesantes en cuanto a evolución química, comparable a una visita a la isla Staten de un residente en Manhattan. La superficie lunar carece de líquidos y de atmósfera, complementos importantes del proceso evolutivo.

Afortunadamente, nuestras posibilidades no se acaban aquí. Así como nuestro habitante de Nueva York puede soñar con Tahití, París o Río de Janeiro, lo mismo hace el investigador del origen de la vida con Titán, Europa y Marte. Por supuesto, ninguna de estas listas pretende ser completa. Los mundos que he mencionado son una muestra de diversos ambientes con posibilidades de evolución química. En el momento en que escribo esto no se han trazado planes definitivos para la exploración detenida de ninguno de ellos por el ser humano, ni siquiera por naves-robot. Así pues, y a modo de sucedáneo, los visitaremos con la imaginación.

TITÁN

En Titán, la mayor de las lunas de Saturno, el remoto Sol resplandece mortecinamente a través de una niebla rojo anaranjada, proyectando no más luz de la que una luna llena arroja sobre la Tierra. La singular incandescencia clarea un enorme mar, cuyas suaves olas bañan las costas de un continente. A veces sobrevienen tormentas y caen lluvias sobre sus tierras, lluvias que alimentan ríos que se abren camino por el suelo y van a parar al mar. La densa atmósfera está compuesta principalmente de nitrógeno gaseoso.

Estos detalles paisajísticos que acabamos de ofrecer quizá nos recuerden la Tierra, pero aquí termina todo parecido. La atmósfera de Titán, más densa que la nuestra, contiene, además de nitrógeno, algo de argón, un reducido porcentaje de metano y una parte muy pequeña de hidrógeno. Su carácter reductor recuerda el de los primeros modelos de la Tierra primitiva.

En esa atmósfera, la luz y las descargas eléctricas interactúan con los diversos gases en lo que es un gigantesco experimento Miller-Urey. El resultado son las diferentes moléculas presentes también en las nubes de polvo interestelar, entre ellas ácido cianhídrico, hidrocarburos y compuestos orgánicos nitrogenados. La posterior combinación de estas sustancias da lugar a partículas orgánicas que se separan lentamente de la atmósfera. Estas partículas se acumulan sobre el terreno, originando una capa de suelo —mejor sería decir de hollín— de varios metros de espesor.

Un frío espantoso reina en el lugar. La temperatura de cualquier punto de Titán ronda los -178°C , un valor más próximo al frío absoluto del espacio exterior que el más gélido invierno siberiano de la Tierra. Toda el agua de Titán está congelada en forma de hielo, que constituye la roca firme de los continentes. Las nubes, la lluvia, los ríos y el mar son de metano y otros hidrocarburos.

Las moléculas orgánicas formadas en el aire pueden introducirse libremente en ese mar de hidrocarburos, interactuar unas con otras e incluso experimentar cierta evolución química. Las reacciones que nos son familiares en la Tierra serían lentísimas en Titán, a causa de las bajas temperaturas. En cambio, otras sustancias demasiado frágiles para sobrevivir al calor de la Tierra podrían evolucionar en el glacial mar hidrocarbonado de este astro.

Nuestro mundo, por supuesto, presenta puntos calientes, chimeneas submarinas y cráteres volcánicos con temperaturas muy por encima de la media superficial. En Titán bien puede ocurrir algo semejante, aunque el equivalente allí de una colada de lava sería una corriente de agua líquida. Durante breves períodos, en puntos determinados, el agua líquida puede interactuar con las moléculas orgánicas y producir reacciones como las que son corrientes en el planeta Tierra.

Buena parte del relato anterior es especulación, mía o de otros, basada en los artículos técnicos publicados por los especialistas en el tema. Titán es más grande que algunos planetas, pero su alejamiento y la espesa envoltura nubosa son obstáculos para la observación directa desde la Tierra. Casi toda la información de que dis-

ponemos procede del paso del Voyager I por sus proximidades en el mes de noviembre de 1980.

Las estimaciones de la temperatura de Titán y de la naturaleza general de su atmósfera parecen bastante fiables. La posibilidad de existencia de un mar de hidrocarburos y de lluvias de estas sustancias han sido objeto de debate. Las moléculas descritas en mis especulaciones han sido realmente detectadas, aunque sus ulteriores productos de reacción pueden no ser de mayor interés para la vida que el asfalto usado para pavimentar las carreteras. Pero quizás haya surgido en este gélido astro un principio de evolución química gradual y se haya producido un sistema organizado, capaz de evolucionar, del tipo que nos interesa investigar. Algunos investigadores del origen de la vida creen que los productos que cabría esperar de ese proceso serían aminoácidos e ingredientes de los ácidos nucleicos. Yo creo que Titán no es como la Tierra, y que si se ha dado alguna evolución química lo más probable es que haya seguido otra vía.

Por suerte, esta discusión concierne a la ciencia, no a la religión ni a la mitología. Tenemos en nuestro poder los medios para conocer cuanto deseemos de este astro, en la actualidad por observación remota y con el tiempo mediante la visita directa. No tenemos por qué esperar la respuesta hasta el día del juicio final.

EUROPA

Los cuatro satélites mayores de Júpiter —lo, Europa, Ganimedes y Calixto— fueron descubiertos por Galileo en 1610. Pero la mayor parte de lo que sabemos de ellos procede del paso de las naves espaciales de la NASA en los años setenta, en particular los encuentros con los Voyager I y II en 1979.

lo, el más cercano a Júpiter, tiene el aspecto de una pizza, con volcanes activos y características distintas de las de los otros tres. Los demás tienen la superficie cubierta de hielo, carecen básicamente de atmósfera y presentan densidades que indican que están formados de hielo y rocas. Si hubieran experimentado durante su formación un proceso de diferenciación (fusión interna, con los constituyentes más pesados localizados en el centro), como ha ocurrido muy posiblemente en la Tierra, entonces las rocas constituirían el núcleo, con el hielo a modo de manto por encima.

La temperatura de esta capa de hielo es la característica de más

interés para nosotros. El hielo superficial, expuesto al espacio, tiene una temperatura de unos -170°C . Pero si cualquiera de estas tres lunas de Júpiter tiene una fuente de calor interno debida a la radiactividad, como tiene la Tierra, parte o la totalidad de este manto glacial puede estar en estado fundido, como agua. Existiría un océano interno que podría ser un sitio adecuado para la evolución química, y quizá para la generación de un tipo de vida basado en el agua y la química del carbono, como el nuestro.

En un libro anterior, un colega, el físico Gerald Feinberg, y yo considerábamos esta posibilidad en la mayor de las lunas de Júpiter, Ganimedes, si bien en fecha más reciente la atención se ha centrado en Europa.

Europa es algo más pequeña que nuestra Luna, y su densidad—inferior a la de Ganimedes o Calixto— indica que quizá un 6 % de su masa es agua. Su superficie es distinta de la de las otras lunas, con innumerables resquebrajaduras terraplenadas y pocos cráteres de impacto. Como Europa ha experimentado sin duda el mismo bombardeo meteorítico que otros cuerpos del Sistema Solar, es de suponer que los cráteres han sido reabsorbidos por algún proceso. Estas características han sido interpretadas por científicos de la NASA y de la Universidad de California en Santa Bárbara como testimonio de la existencia de un océano interno, oculto debajo de una delgada y un tanto elástica corteza de hielo. Este océano podría tener más de 100 km de profundidad. Las fuerzas de marea debidas a la interacción de Europa con Júpiter, así como la radiactividad, producirían el calor necesario para mantener el agua en forma líquida.

Se necesitaría una fuente de energía para impulsar la evolución química y sustentar la vida. ¿Cómo encontrar una adecuada en el negro océano de Europa debajo de la gélida corteza? Los científicos de la NASA David Reynolds y Steven Squyres sugirieron que las pequeñas resquebrajaduras temporales del hielo permitirían la entrada de luz solar en el océano durante períodos de tres o cuatro años. En nuestro libro, Gerald Feinberg y yo presentábamos una posibilidad alternativa: el fondo de ese océano podría estar cubierto de chimeneas hidrotérmicas, como en la Tierra. Si las chimeneas se bastan para mantener la vida aquí, con independencia del Sol, y son incluso el lugar favorito de algunos científicos para el origen de la vida, ¿por qué no habrían de desempeñar el mismo papel en Europa?

Puede haber vida bajo el hielo de Europa. Si el océano interno

existe, puede llevar allí miles de millones de años, lo suficiente para que se haya producido una evolución considerable. Para averiguar qué ha ocurrido, hemos de echar una ojeada debajo de esa corteza, lo cual es una empresa cara. Si se mantiene el programa actual de lanzamientos, en 1989 una nave de una misión de la NASA a Júpiter —el proyecto Galileo— inspeccionará con más detalle la superficie de los diversos satélites. Posiblemente se descubrirán más indicios en lo concerniente a la existencia de un océano interno. Si dicho océano ha expulsado cantidades considerables de materia orgánica a la superficie, ésta también podría ser detectada. Una respuesta más completa en lo que se refiere a las interioridades de Europa requerirá ya una sonda que pueda posarse en su superficie, y con eso nos vamos al siglo XXI.

MARTE

Ya hemos tenido oportunidad de inspeccionar de cerca el planeta Marte. Dos sondas idénticas del proyecto Viking fueron colocadas en sendos puntos de su superficie muy distantes entre sí, en el mes de julio de 1976. Mediante diferentes pruebas, dichas sondas intentaron detectar vida bacteriana similar a la nuestra. Los resultados fueron ambiguos y confusos: nos permiten suponer que en la superficie de Marte hay algo interesante, aunque no sabemos qué es. Una nueva misión —o misiones— nos lo dirá.

A primera vista, las condiciones en los lugares donde se posaron las sondas Viking no parecían muy hospitalarias para un tipo de vida parecido al nuestro. Las cámaras mostraban áridos desiertos de un tono rojo anaranjado, salpicados de piedras sueltas. La temperatura variaba de -90°C a -10°C , siempre por debajo del punto de congelación del agua. No hay agua líquida en la superficie de Marte, ni en los lugares donde aterrizaron las sondas ni en ningún otro, aunque existe hielo en los casquetes polares, trazas de vapor de agua en la atmósfera y un poco de la misma combinada con los minerales del suelo. La densidad de la atmósfera marciana es sólo un 1 % de la nuestra y contiene fundamentalmente nitrógeno, con algo de argón y dióxido de carbono. Estas desagradables condiciones y el yermo aspecto de Marte no excluían, sin embargo, la posibilidad de existencia de vida microbiana. Era tarea de los instrumentos de análisis químico y de tres experimentos biológicos independientes detectarla, si es que existía.

En general, los resultados biológicos fueron alentadores. Se ensayaron tres reacciones químicas distintas, características del metabolismo de los microorganismos terrícolas. Cada ensayo partía de diferentes premisas y estaba convenido de antemano que una respuesta positiva a cualquiera de los tres sería tenida por un buen indicador de la presencia de vida. De hecho, un experimento dio resultados claramente positivos: se desprendía dióxido de carbono al añadir una disolución de compuestos orgánicos al suelo marciano. Los otros dos ensayos biológicos dieron resultados que no eran ni claramente positivos ni claramente negativos para lo que era la idea inicial de los experimentos. Por ejemplo, se desprendió oxígeno cuando el suelo marciano fue tratado con agua, un resultado totalmente inesperado.

Por sí solos, los ensayos biológicos habrían hecho pensar que había vida en las muestras de suelo. Pero los instrumentos de análisis químico no detectaron la presencia de ningún compuesto orgánico. En la Tierra, los organismos del suelo van acompañados invariablemente de materia orgánica fácilmente detectable.

Se han propuesto diversas explicaciones para resolver esta evidente paradoja. Una consiste en suponer que en los ensayos biológicos la muestra contenía una concentración baja de microbios, mientras que en los ensayos químicos las muestras no contenían ninguno. Sin embargo, la mayoría de los científicos prefieren una explicación conservadora, abiológica, de todos los resultados. Se han investigado multitud de sistemas químicos inorgánicos que simularan los resultados del Viking, con éxitos parciales.

Asombrosamente, algunos de los mejores resultados en la simulación de los experimentos de detección de vida se obtuvieron con sistemas a base de minerales arcillosos laminares. Los intentos de explicar la posible presencia de vida en Marte nos han llevado a los posibles sistemas responsables del origen de la vida en la Tierra. Organismos de minerales arcillosos activos, del tipo descrito por Cairns-Smith, darían cuenta de todos los resultados del Viking, incluido el experimento del análisis orgánico. Sería muy irónico que tuviéramos que viajar a Marte para conocer a nuestros antepasados más remotos.

No se debería negar la posibilidad de vida o de evolución química en otros lugares de Marte, aunque las muestras de suelo del Viking estuvieran realmente inanimadas y los resultados se debieran a la más tonta de las reacciones químicas imaginables. La versión terrestre más próxima al medio ambiente marciano la tenemos en

ciertos desiertos antárticos fríos y áridos, barridos por el viento. Ya nos hemos referido a ellos con anterioridad; allí viven cómodamente algas y bacterias ocultas justo debajo de la superficie de las rocas. También podría existir vida en las localidades visitadas por las sondas marcianas, dentro de las rocas o en un nivel muy profundo del suelo, fuera del alcance de la cuchara de la sonda. Gilbert Levin, el miembro del proyecto Viking que ideó el experimento biológico de más éxito, observó en unas rocas televisadas por una sonda unas manchas verdes que recordaban líquenes, pero no pudo conseguir que otros miembros del equipo se tomaran interés por ellas.

Aunque toda la vecindad de las sondas resultara carente de interés, quedan todavía en Marte lugares muy prometedores. Por ejemplo, ciertos puntos por debajo del ecuador de Marte pueden contener agua líquida subsuperficial. El margen del casquete de hielo polar sería otro lugar interesante. Habría que examinar una buena extensión del planeta, quizá con un vehículo a control remoto, antes de poder estar seguros de lo que puede o no puede existir allí.

Y si de todos modos no encontráramos vida, quizá descubriéramos reliquias de una pretérita. La presencia de canales a modo de cauces de ríos antiquísimos lleva a pensar que Marte, en una época remota de su historia, tuvo agua en su superficie. Se ha hablado de viento o hielo como agentes alternativos para la formación de estos canales, pero la explicación fluvial parece verosímil. Así pues, la vida pudo haber evolucionado en Marte durante un período anterior, húmedo y cálido, y desaparecer a medida que cambió el clima. De ser así, quizás encontráramos fósiles representativos de este episodio de la historia marciana.

Marte puede ofrecernos lecciones importantes en lo que se refiere al origen y la evolución de la vida, y su distribución en el Universo. Con el proyecto Viking hemos intentado obtener información dando palos de ciego. Hará falta un esfuerzo paciente y sostenido, incluso ante la adversidad, para desvelar la historia completa de Marte. Posiblemente no nos sentiremos satisfechos mientras no hayamos paseado por los cauces secos y excavado la superficie del planeta. Aunque los resultados respecto al problema del origen de la vida fueran totalmente negativos, siempre nos quedaría la satisfacción de haber llevado a cabo la búsqueda.

AVENTURAS PLANETARIAS

Después de un período de verdadero eclipse a principios de los años ochenta, el programa de investigación planetaria empieza a mostrar síntomas —modestos síntomas— de reanimación. Un comité asesor de la NASA sobre exploración del Sistema Solar recomendó un programa moderado para lo que resta de siglo. Se propuso una lista de catorce misiones básicas que podrían realizarse en el marco de las actuales restricciones presupuestarias. Entre esas catorce, se hizo especial hincapié en cuatro. Una de ellas interesa particularmente a la investigación del origen de la vida: se enviaría una sonda-radar a Titán, que atravesaría su atmósfera en paracaídas, determinando su composición exacta y cartografiando una parte de su superficie.

Una misión con los mismos objetivos —el proyecto Cassini— ha recibido también la máxima prioridad en la Agencia Espacial Europea. Si los dos organismos cooperasen, se podría hacer un reconocimiento conjunto del sistema de astros de Saturno, con la exploración de Titán como punto clave. Una fecha tentativa para dicho macroproyecto sería 1995. El éxito en esta aventura podría marcar la pauta para las exploraciones espaciales más ambiciosas de comienzos del siglo XXI: una exploración extensiva de la superficie de Marte, que culminase en una expedición tripulada.

A corto plazo, esas exploraciones quizá no nos digan gran cosa acerca de los principios de la evolución química y el origen de la vida. Pero el espíritu que las anima, de no ser reprimido, nos llevará a la larga —a nosotros o a naves dirigidas por nosotros— allende nuestro Sistema Solar, a las inmensas vastedades de la galaxia. Allí fuera, a buen seguro que nuestros descendientes hallarán respuesta a los interrogantes sobre la vida en el Universo. Mientras tanto, nuestra generación ha de conformarse con las respuestas parciales que tiene a su alcance.

UNA OPINIÓN

Aunque la historia completa de nuestros orígenes está todavía por desvelar, me niego a dejar un vacío. Necesitamos un modelo para organizar el material que tenemos a mano, localizar las incongruencias y planear nuevas investigaciones. En las líneas que siguen, intentaré unir los diversos cabos que hemos recogido y llenar

con esbozos los espacios en blanco. Espero que mis ideas no sean tomadas por dogma, pues bueno está este campo de la ciencia para más mitologías.

Yo aceptaría, para empezar, que la vida que conocemos es un producto de nuestro propio planeta. Como apenas hemos examinado las posibilidades que tenemos aquí, no hay necesidad de ir a otro lugar. La hipótesis más simple sobre las condiciones en la Tierra antes de que arrancara la vida es que eran muy parecidas a las que se dan hoy, con la salvedad, claro está, de que la vida y sus productos, y especialmente el oxígeno del aire, no existían. Además, no acontecían sucesos de gran improbabilidad, sólo procesos predecibles, que se presentarían de nuevo bajo las mismas circunstancias. En otros ambientes, con distintas circunstancias, se seguirían otras vías químicas y surgirían formas de vida diferentes, o ninguna en absoluto.

Las complejas moléculas y estructuras que observamos en la vida actual son, posiblemente, el resultado de un largo proceso de evolución, del mismo modo que los órganos de nuestra sociedad —los parlamentos, los tribunales, la hacienda pública— son consecuencia de un largo período de desarrollo social. Tiene tanto sentido suponer que la vida comenzó con enzimas y sistemas de replicación perfectamente constituidos como imaginar que las tribus primitivas establecieron legislaciones complejas y oficinas de recaudación de impuestos cuando aprendieron por vez primera a gobernarse. La vida comenzó con los compuestos químicos sencillos que tenía a mano, y luego progresó.

Subsiste el problema de especificar los ingredientes, las circunstancias y los principios de organización. En el estado presente de nuestros conocimientos, esta tarea es más una cuestión de intuición que de lógica. Yo personalmente me sentí prendado de una zona que conocí mientras estaba de vacaciones en el parque nacional de Yellowstone, en 1983. El lugar tenía el sugestivo nombre de «Fuente del Bote de Pintura» y era uno de los muchos enclaves geotérmicos que hay por aquellos parajes. Mis pasos me llevaron por charcas termales de un profundo azul oscuro, borboteantes géiseres y fuentes de agua hirviente. A medida que esas aguas corrían montaña abajo, depositaban sobre la roca subyacente brillantes vetas rojas y amarillo anaranjadas de azufre, óxidos de hierro y otros minerales. El sol hacía centellear este despliegue de color, pero el aire resultaba menos agradable, cargado como estaba del infame olor de los gases sulfurosos reducidos.

La zona debe su nombre a la que es su atracción principal: una vaporosa charca de fango denso, un bote de fango. El vapor burbujea a través del espeso lodo, compuesto de caolinita, proyectando material al aire y formando ondas en la viscosa superficie. Mientras contemplaba esta bulliciosa, casi sensual manifestación, pensé para mí: «Éste tiene que ser el lugar; no es frecuente ver la materia inanimada actuar con tanta animación.»

Allí hay abundante energía disponible en forma de radiación solar, viento, calor, sustancias químicas y agua en movimiento. Hay compuestos químicos reducidos y los minerales son removidos a la luz del sol. A buen seguro que en la Tierra primitiva había muchos lugares como éste, y en uno —o en más de uno— ocurrió algo.

Otros muchos han tenido la misma idea antes que yo, pero nadie ha sido capaz de deducir las etapas o los principios exactos que intervinieron. En ese lugar insólito hay arcillas en abundancia, y ya nos hemos referido a sus posibilidades. Estamos hechos de compuestos orgánicos, de modo que tienen que haber aparecido en algún momento. No lo hicieron como productos complejos, sino sencillos, de pocos átomos de carbono; de lo contrario, habría sido prácticamente imposible que se presentara una tal complejidad química inicial. Todavía no está claro si las arcillas evolucionaron solas durante un tiempo, como propone Cairns-Smith, o si la asociación de carbono y silicatos funcionó desde el comienzo mismo.

La mezcla de estas dos fuentes de diversidad química era manifiesta en la Fuente del Bote de Pintura. Los colores no los ponían sólo los minerales. Algas verdes, anaranjadas y pardas teñían el agua caliente, como también lo hacían bacterias amarillas y rosas. Mi mirada inexperta no conseguía distinguir los minerales de los microorganismos.

Por supuesto, y como hemos visto en los capítulos anteriores, ambas fuentes de diversidad difieren, y mucho. Sin embargo, su proximidad en este lugar sugería una temprana colaboración en el origen de la vida. El miembro orgánico de esta primitiva unión se hizo más complejo y evolucionó, mientras que el mineral quedó como tal.

EL PLACER DE LA CIENCIA

Si todo lo anteriormente supuesto resultara ser correcto, me llevaría una gran sorpresa. He tratado de exponer en este libro las

cosas más importantes que sabemos sobre el tema, pero, claro está, no he podido incluir en él los descubrimientos todavía por hacer. La ciencia no es lugar para quienes buscan certezas, para quienes las verdades que aprendieron en la infancia les tranquilizan en la edad adulta. Se dan sorpresas que cambian nuestra percepción de la realidad, como por ejemplo el descubrimiento de la radiactividad o de la función genética del ADN.

Algunos campos de la ciencia, como la mecánica clásica o la química orgánica fundamental, parecen razonablemente bien afirmados. En esas áreas, los descubrimientos trascendentales, aunque posibles, no son de esperar. En cambio, en el origen de la vida el resultado más sorprendente de todos sería el que no hubiera sorpresas futuras.

Sean cuales fueren los acontecimientos que el futuro nos pueda deparar, el interés por este tema perdurará. ¿Acaso algún ser humano se conforma con vivir la vida día a día sin preguntarse nada sobre las grandes cuestiones de la ciencia? ¿Cómo empezó el Universo? ¿Cómo comenzó la vida? ¿Qué clases de vida existen? ¿Cómo funciona la conciencia? Esta actitud me sugeriría la de una víctima de amnesia que despertase un día sin ningún recuerdo del pasado y no sintiese el más mínimo interés por su vida anterior. Francis Crick ha escrito: «No manifestar interés por estos temas es ser verdaderamente inculto.»

Lo cierto es que la humanidad ha sentido curiosidad por la cuestión de sus orígenes desde tiempos muy antiguos, y la sigue sintiendo hoy día. Las salas de conferencias, rara vez concurridas, se llenan a tope cuando el tema anunciado es el origen de la vida. Muchos asisten confiados en que saldrán con la respuesta. Si sólo acuden con ese fin, están abocados al desencanto. Pero si además están interesados por la ciencia, saldrán satisfechos por haber participado en el espíritu de búsqueda que nos anima a los especialistas.

Cuando tratamos cada nueva observación o teoría con escepticismo, persistiendo en la duda hasta que ha pasado la prueba del experimento, y luego la colocamos junto a otras adquisiciones con el mimo del coleccionista que ha conseguido un objeto valioso después de una larga búsqueda, entonces podemos sentir el placer de la ciencia. Es este placer, y no el de haber obtenido una respuesta, lo que posiblemente ha de ser nuestra recompensa mientras continuamos la búsqueda del origen de la vida. Pero seamos prudentes incluso al llegar a esta conclusión, pues podemos estar más cerca de la respuesta de lo que creemos.

BIBLIOTECA CIENTÍFICA SALVAT

1. **Stephen Hawking.** *Una vida para la ciencia.* Michael White y John Gribbin
2. **La verdadera historia de los dinosaurios.** Alan Charig
3. **La explosión demográfica.** *El principal problema ecológico.* Paul R. Ehrlich y Anne H. Ehrlich
4. **El monstruo subatómico.** *Una exploración de los misterios del Universo.* Isaac Asimov
5. **El gen egoísta.** *Las bases biológicas de nuestra conducta.* Richard Dawkins
6. **La evolución de la física.** Albert Einstein y Leopold Infeld
7. **El secreto del Universo.** *Y otros ensayos científicos.* Isaac Asimov
8. **Qué es la vida.** Joël de Rosnay
9. **Los tres primeros minutos del Universo.** Steven Weinberg
10. **Dormir y soñar.** *La mitad nocturna de nuestras vidas.* Dieter E. Zimmer
11. **El hombre mecánico.** *El futuro de la robótica y la inteligencia humana.* Hans Moravec
12. **La superconductividad.** *Historia y leyendas.* Sven Ortoli y Jean Klein
13. **Introducción a la ecología.** *De la biosfera a la antroposfera.* Josep Peñuelas
14. **Miscelánea matemática.** Martin Gardner
15. **El Universo desbocado.** *Del Big Bang a la catástrofe final.* Paul Davies
16. **Biotecnología.** *Una nueva revolución industrial.* Steve Prentis
17. **El telar mágico.** *El cerebro humano y la computadora.* Robert Jastrow
18. **A través de la ventana.** *Treinta años estudiando a los chimpancés.* Jane Goodall
19. **Einstein.** Banesh Hoffmann
20. **La doble hélice.** *Un relato autobiográfico sobre el descubrimiento del ADN.* James Watson
21. **Cien mil millones de soles.** *Estructura y evolución de las estrellas.* Rudolf Kippenhahn
22. **El planeta viviente.** *La adaptación de las especies a su medio.* David Attenborough
23. **Evolución humana.** Roger Lewin
24. **El divorcio entre las gaviotas.** *Lo que nos enseña el comportamiento de los animales.* William Jordan

25. **Lorenz.** Alec Nisbett
26. **Mensajeros del paraíso.** *Las endorfinas, drogas naturales del cerebro.* Charles F. Levinthal
27. **El Sol brilla luminoso.** Isaac Asimov
28. **Ecología humana.** *La posición del hombre en la naturaleza.* Bernard Campbell
29. **Sol, lunas y planetas.** Erhard Keppler
30. **Los secretos de una casa.** *El mundo oculto del hogar.* David Bodanis
31. **La cuarta dimensión.** *Hacia una geometría más real.* Rudy Rucker
32. **El segundo planeta.** *El problema del aumento de la población mundial.* U. Colombo y G. Turani
33. **La mente (I).** Anthony Smith
34. **La mente (II).** Anthony Smith
35. **Introducción a la química.** Hazel Rossotti
36. **El envejecimiento.** David P. Barash
37. **Edison.** Fritz Vögtle
38. **La inestable Tierra.** *Pasado, presente y futuro de las catástrofes naturales.* Basil Booth y Frank Fitch
39. **Gorilas en la niebla.** *13 años viviendo entre los gorilas.* Dian Fossey
40. **El espejo turbulento.** *Los enigmas del caos y el orden.* John Briggs y F. David Peat
41. **El momento de la creación.** *Del Big Bang hasta el Universo actual.* James S. Trefil
42. **Dios y la nueva física.** Paul Davies
43. **Evolución.** *Teorías sobre la evolución de las especies.* Wolfgang Schwoerbel
44. **La enfermedad, hoy.** Lluís Dauffí
45. **Iniciación a la meteorología.** Mariano Medina
46. **Los niños de Urania.** *En busca de las civilizaciones extraterrestres.* Evry Schatzman
47. **Amor y odio.** *Historia natural del comportamiento humano.* Irenäus Eibl-Eibesfeldt
48. **Matemáticas e imaginación (I).** Edward Kasner y James Newman
49. **Matemáticas e imaginación (II).** Edward Kasner y James Newman
50. **Darwinismo y asuntos humanos.** Richard Alexander
51. **La explosión de la relatividad.** Martin Gardner
52. **Las plantas.** *Amores y civilizaciones vegetales.* Jean-Marie Pelt
53. **La Tierra en movimiento.** John Gribbin
54. **Orígenes.** *Lo que sabemos actualmente sobre el origen de la vida.* Robert Shapiro


EXLIBRIS Scan Digit



The Doctor

Libros, Revistas, Intereses:
<http://thedoctorwho1967.blogspot.com.ar/>





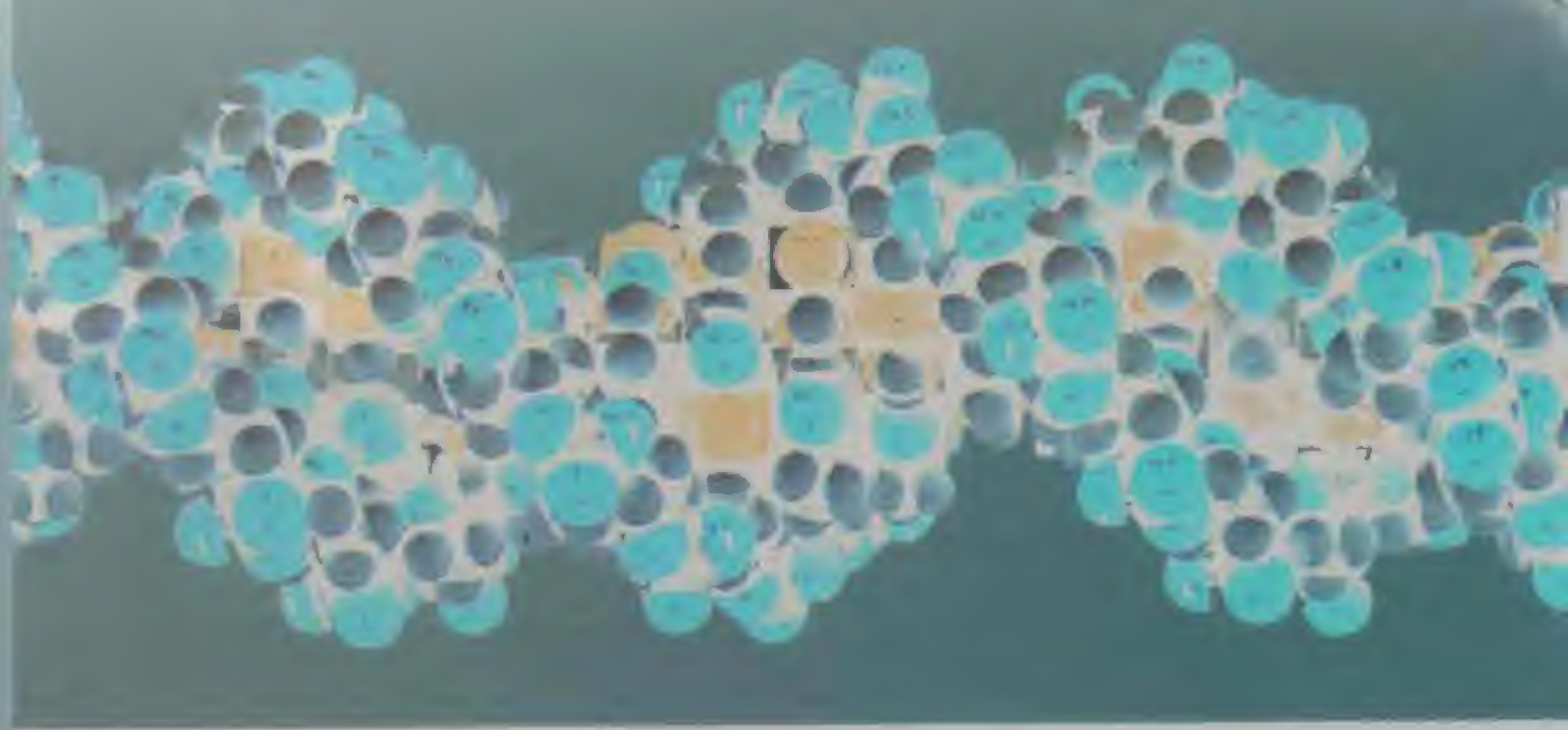
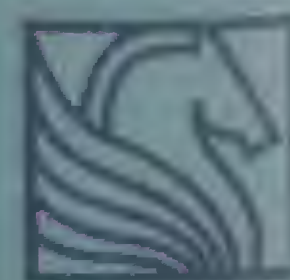
Muchos estantes de las bibliotecas especializadas en temas científicos están atiborradas de libros dedicados al origen de la vida. Así pues, ¿por qué otro libro sobre el tema? Porque en ninguno se explica de un modo claro y comprensible para el gran público no sólo lo que los científicos saben al respecto, sino también lo que aún ignoran. Tras realizar un recorrido objetivo -pero apasionado- por las diferentes teorías existentes sobre este crucial aspecto de nuestros orígenes, el autor concluye que la ciencia está aún lejos de poder ofrecer respuestas concretas, aunque, desde luego, sólo en su seno se encontrará el camino para obtenerlas.

Robert Shapiro es profesor de química en la Universidad de Nueva York, y un renombrado especialista en bioquímica y genética molecular. Ha trabajado en varios proyectos relacionados con el origen de las primeras biomoléculas y, en particular, en el programa de la NASA para detectar la existencia de vida en Marte.

Orígenes

R. Shapiro

54



Orígenes

Lo que sabemos
actualmente
sobre el origen de la vida

Robert Shapiro

Biblioteca
Científica
Salvat



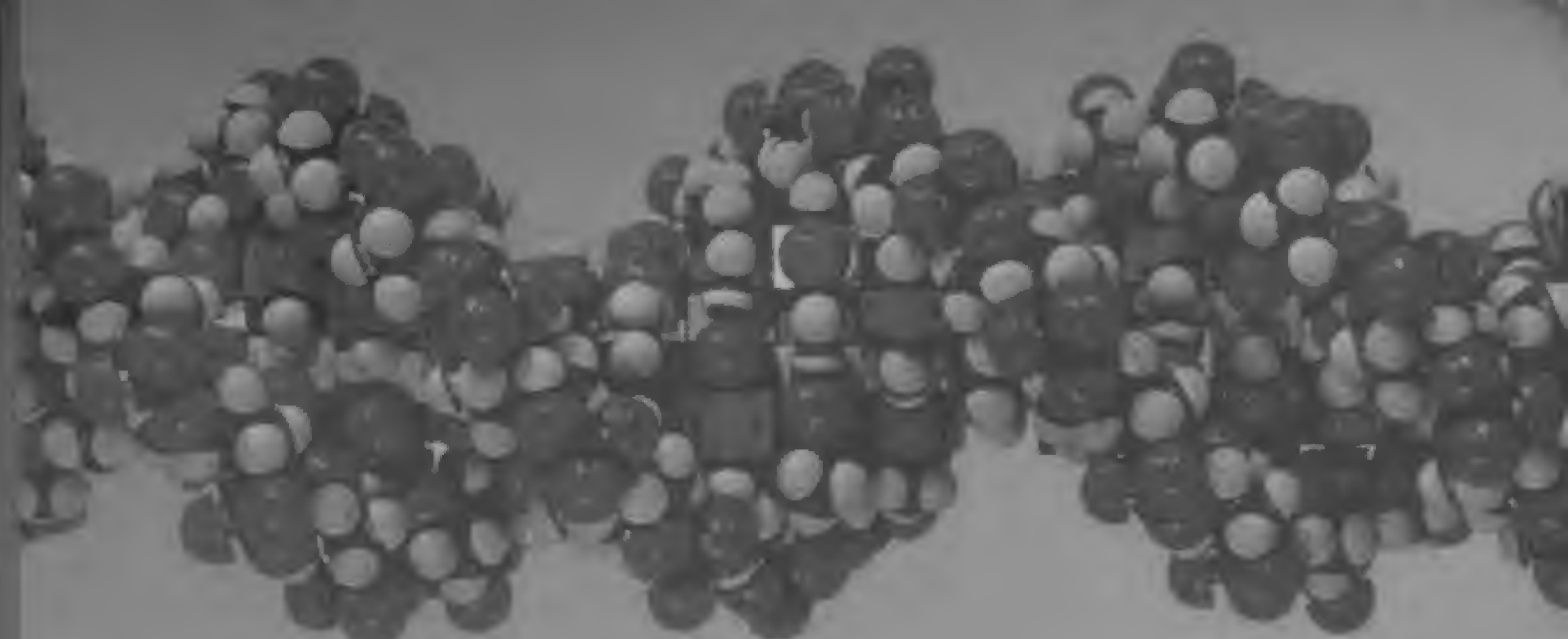
Muchos estantes de las bibliotecas especializadas en temas científicos están atiborradas de libros dedicados al origen de la vida. Así pues, ¿por qué otro libro sobre el tema? Porque en ninguno se explica de un modo claro y comprensible para el gran público no sólo lo que los científicos saben al respecto, sino también lo que aún ignoran. Tras realizar un recorrido objetivo -pero apasionado- por las diferentes teorías existentes sobre este crucial aspecto de nuestros orígenes, el autor concluye que la ciencia está aún lejos de poder ofrecer respuestas concretas, aunque, desde luego, sólo en su seno se encontrará el camino para obtenerlas.

Robert Shapiro es profesor de química en la Universidad de Nueva York, y un renombrado especialista en bioquímica y genética molecular. Ha trabajado en varios proyectos relacionados con el origen de las primeras biomoléculas y, en particular, en el programa de la NASA para detectar la existencia de vida en Marte.

Orígenes

R. Shapiro

54

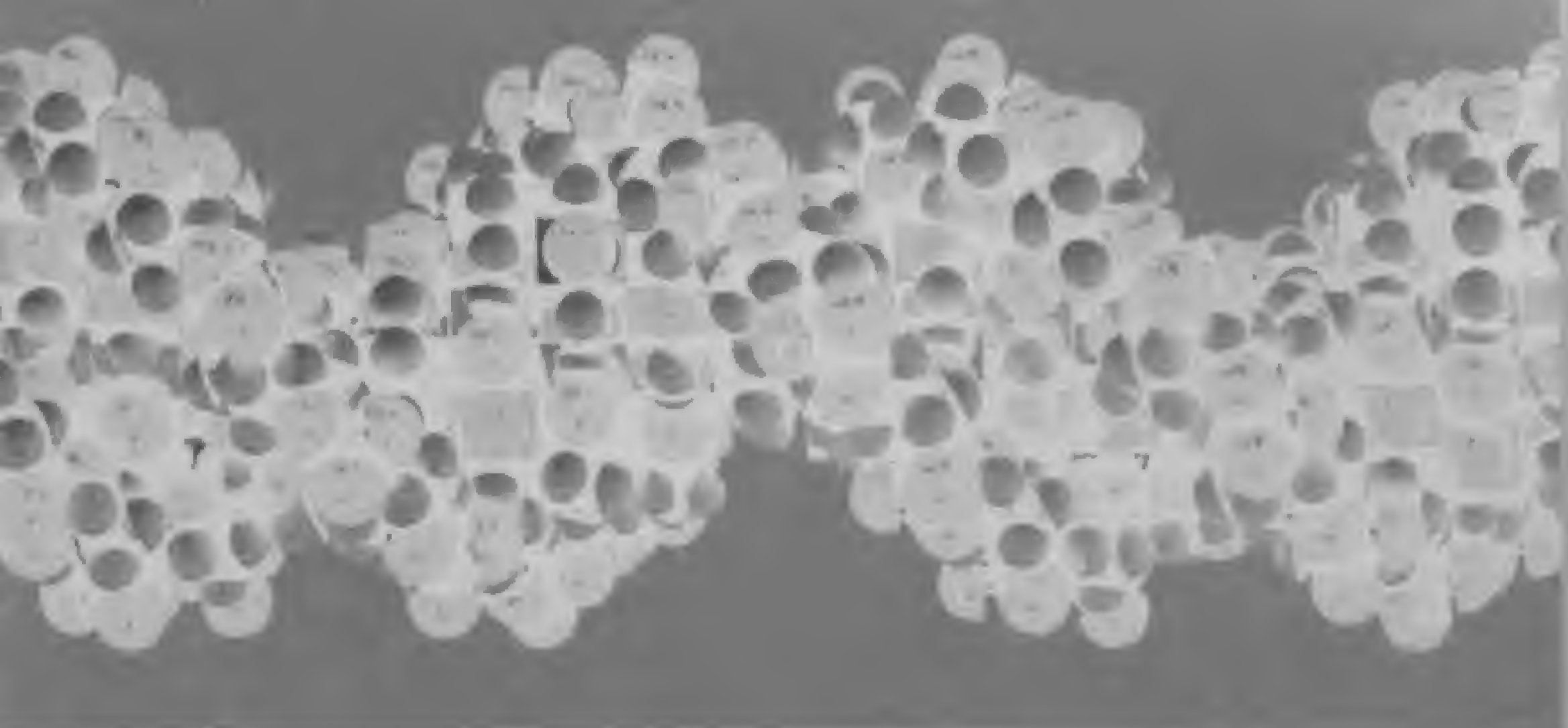


Orígenes

Lo que sabemos
actualmente
sobre el origen de la vida

Robert Shapiro

Biblioteca
Científica
Salvat



Muchos estantes de las bibliotecas especializadas en temas científicos están atiborradas de libros dedicados al origen de la vida. Así pues, ¿por qué otro libro sobre el tema? Porque en ninguno se explica de un modo claro y comprensible para el gran público no sólo lo que los científicos saben al respecto, sino también lo que aún ignoran. Tras realizar un recorrido objetivo -pero apasionado- por las diferentes teorías existentes sobre este crucial aspecto de nuestros orígenes, el autor concluye que la ciencia está aún lejos de poder ofrecer respuestas concretas, aunque, desde luego, sólo en su seno se encontrará el camino para obtenerlas.

Robert Shapiro es profesor de química en la Universidad de Nueva York, y un renombrado especialista en bioquímica y genética molecular. Ha trabajado en varios proyectos relacionados con el origen de las primeras biomoléculas y, en particular, en el programa de la NASA para detectar la existencia de vida en Marte.

Orígenes

R. Shapiro

54

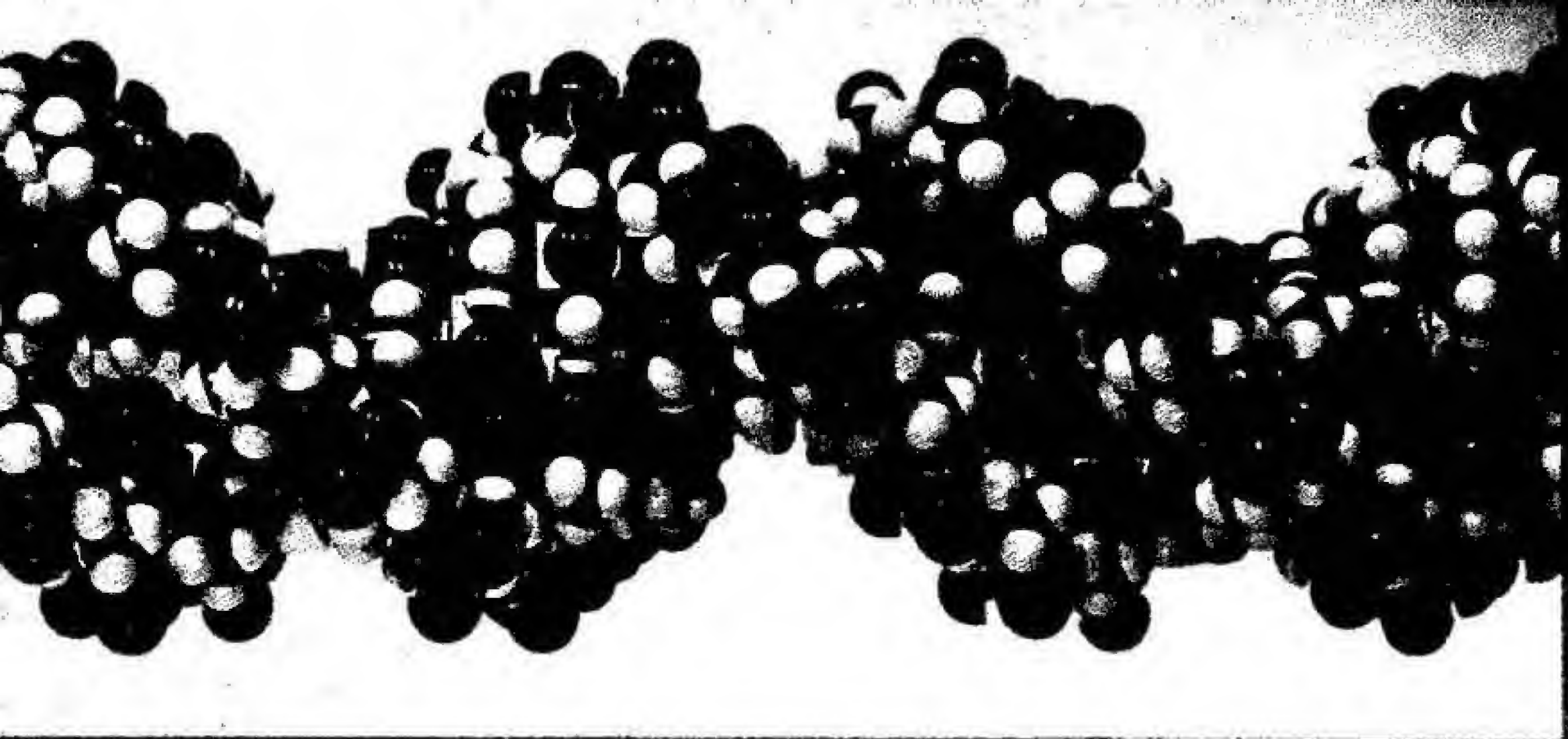


● Orígenes

Lo que sabemos
actualmente
sobre el origen de la vida

Robert Shapiro

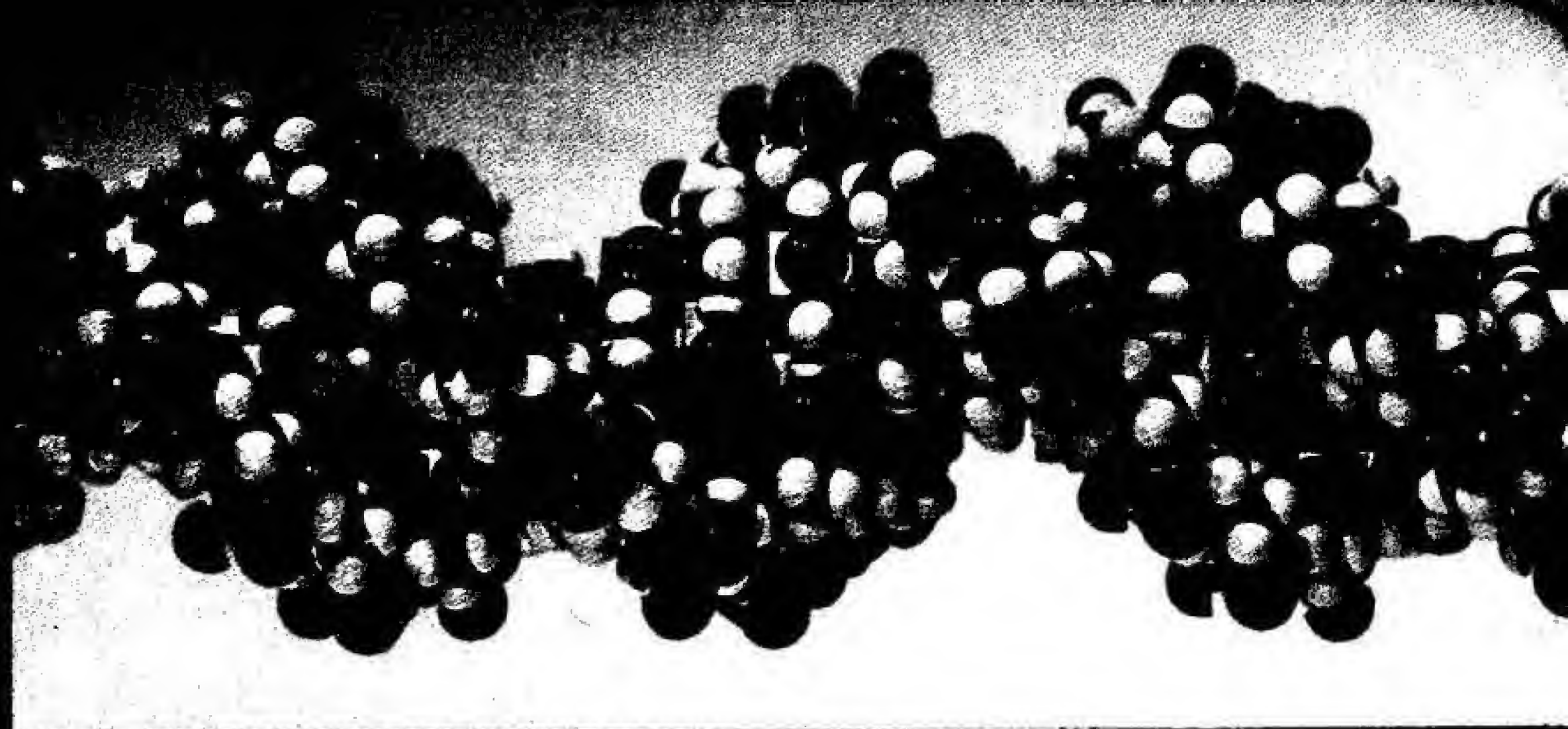
Biblioteca
Científica
Salvat



Muchos estantes de las bibliotecas especializadas en temas científicos están atiborradas de libros dedicados al origen de la vida. Así pues, ¿por qué otro libro sobre el tema? Porque en ninguno se explica de un modo claro y comprensible para el gran público no sólo lo que los científicos saben al respecto, sino también lo que aún ignoran. Tras realizar un recorrido objetivo -pero apasionado- por las diferentes teorías existentes sobre este crucial aspecto de nuestros orígenes, el autor concluye que la ciencia está aún lejos de poder ofrecer respuestas concretas, aunque, desde luego, sólo en su seno se encontrará el camino para obtenerlas.

Robert Shapiro es profesor de química en la Universidad de Nueva York, y un renombrado especialista en bioquímica y genética molecular. Ha trabajado en varios proyectos relacionados con el origen de las primeras biomoléculas y, en particular, en el programa de la NASA para detectar la existencia de vida en Marte.

Orígenes



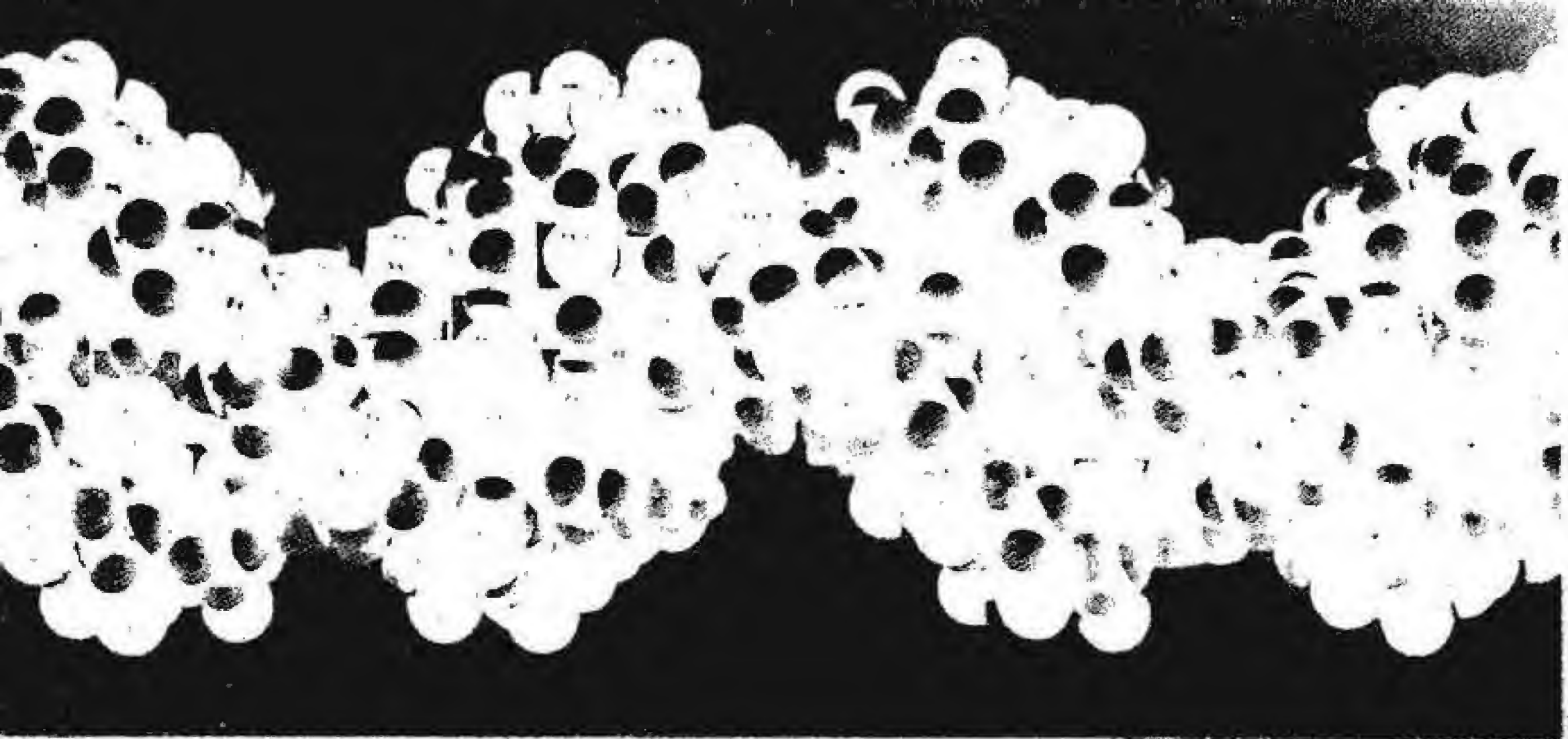
Orígenes

Lo que sabemos actualmente sobre el origen de la vida

Robert Shapiro



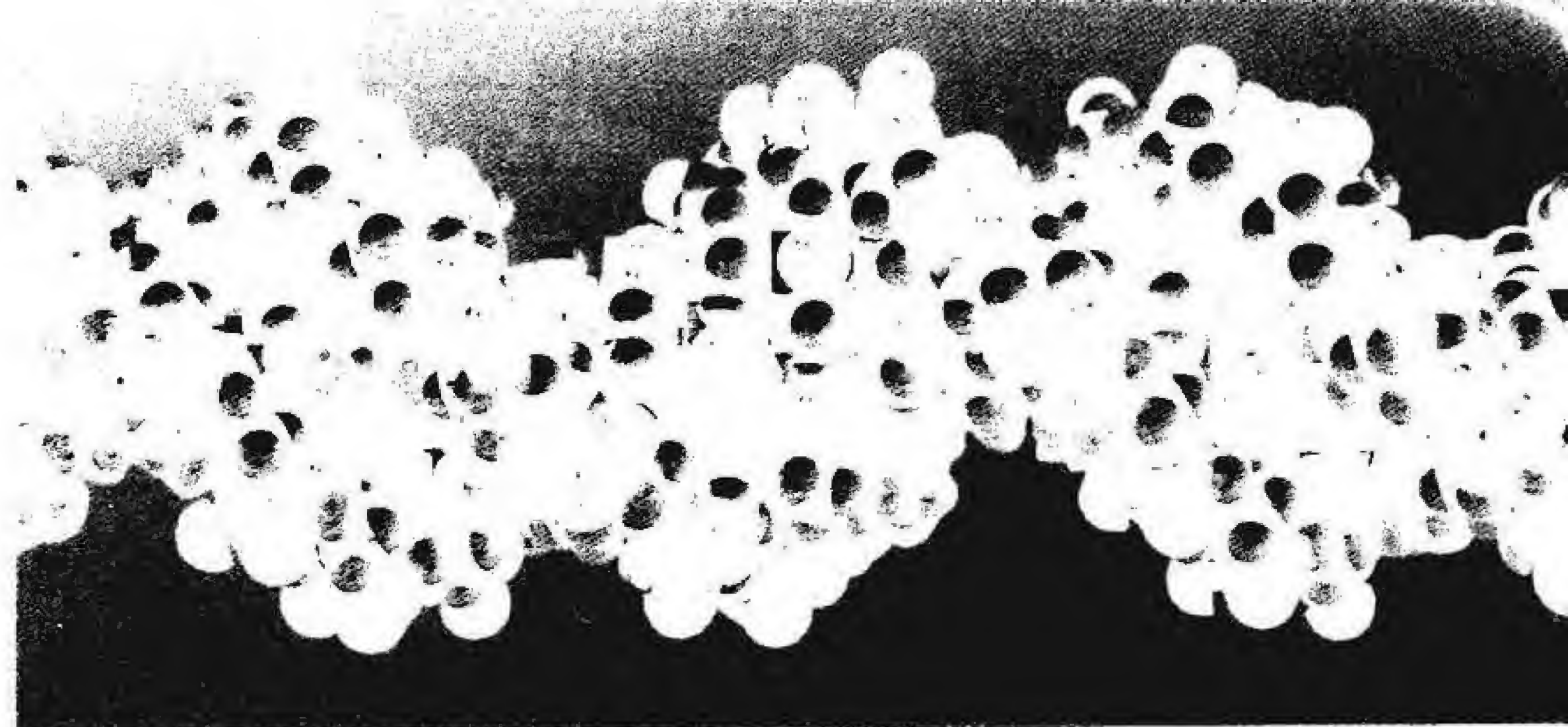
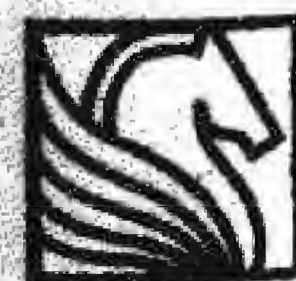
Biblioteca
Científica
Salvat



Muchos estantes de las bibliotecas especializadas en temas científicos están atiborradas de libros dedicados al origen de la vida. Así pues, ¿por qué otro libro sobre el tema? Porque en ninguno se explica de un modo claro y comprensible para el gran público no sólo lo que los científicos saben al respecto, sino también lo que aún ignoran. Tras realizar un recorrido objetivo -pero apasionado- por las diferentes teorías existentes sobre este crucial aspecto de nuestros orígenes, el autor concluye que la ciencia está aún lejos de poder ofrecer respuestas concretas, aunque, desde luego, sólo en su seno se encontrará el camino para obtenerlas.

Robert Shapiro es profesor de química en la Universidad de Nueva York, y un renombrado especialista en bioquímica y genética molecular. Ha trabajado en varios proyectos relacionados con el origen de las primeras biomoléculas y, en particular, en el programa de la N.A.S.A para detectar la existencia de vida en Marte.

Orígenes



Orígenes

Lo que sabemos
actualmente
sobre el origen de la vida

Robert Shapiro

Biblioteca
Científica
Salvat